ХРЕСТОМАТИЯ ПО ФИЗИКЕ



8-10


DIALOGO
di
GALILEO GALILEI LINCEO
AL SER FERD II GRAN DVCA DI
TOSC ANA


WONDER EN IS GHEEN WONDER

ХРЕСТОМАТИЯ ПО ФИЗИКЕ

Под редакцией профессора

Б. И. СПАССКОГО

Учебное пособие для учащихся

Рекомендовано
Главным управлением школ
Министерства просвещения СССР

МОСКВА «ПРОСВЕЩЕНИЕ»
1982

ББК 22.3
Х91

Составители:
А. С. ЕНОХОВИЧ, О. Ф. КАБАРДИН, Ю. А. КОВАРСКИЙ,
И. И. НУРМИНСКИЙ, Б. И. СПАССКИЙ, Е. К. СТРАУТ,
В. В. УСАНОВ, Л. С. ХИЖНЯКОВА

Хрестоматия по физике: Учеб. пособие для учащихся /
Х91 Сост.: А. С. Енохович, О. Ф. Кабардин, Ю. А. Коварский и др.; под ред. Б. И. Спасского.— М.: Просвещение, 1982.— 223 с., ил., 1 л. ил.

Содержание этой книги составляют избранные отрывки из работ выдающихся ученых, главным образом — физиков. Тексты расположены в соответствии с основными разделами курса физики средней школы и снабжены вводными пояснениями, биографическими справками и примечаниями.

Книга предназначена учащимся VIII—X классов.

Х $\frac{4306021100-788}{103(03)-82}$ **инф. письмо**

ББК 22.3
53

К ЧИТАТЕЛЯМ

В школьных учебниках изложение знаний о явлениях и закономерностях в природе подчинено единой логике и выполнено современным научным языком. Это облегчает усвоение материала. Однако при таком изложении неизбежно теряется специфика научного творчества отдельных ученых, оказывается в известной мере упущенным и своеобразие развития науки в каждой исторической эпохе. Глубже проникнуть в физическую науку, особенно в те ее стороны, которые связаны с процессом развития знаний о природе, вам поможет чтение этой книги.

В ней вы найдете отобранные в соответствии с содержанием школьного курса физики отрывки из оригинальных трудов выдающихся ученых-физиков. Эти материалы снабжены в книге необходимыми вводными пояснениями*, биографическими справками об ученых и примечаниями. Читая фрагменты из сочинений Галилея, Ньютона, Ломоносова, Фарадея, Максвелла, Эйнштейна, Бора и других крупнейших ученых, вы сможете почувствовать, как и при каких условиях строились разные «этажи» здания физической науки, какие трудности пришлось преодолевать ее творцам, как им на каждом новом этапе приходилось ломать старые взгляды, высказывать и защищать новые идеи, бороться с догматизмом.

Материал хрестоматии распределен по разделам в соответствии с программой школьного курса физики. Исключение составляют только материалы о законах сохранения в физике. Сведения об этих законах, относящиеся к различным разделам физики, в этой книге собраны вместе. Это позволит при чтении лучше понять значение законов сохранения в физике.

---

* Вводные пояснения составлены в основном Б. И. Спасским.

Помещенные в хрестоматии выдержки из произведений основоположников современной физики относятся либо к теоретическим, либо к экспериментальным работам.

Первые поданы в книге так, чтобы читатель мог узнать об основных физических представлениях и взглядах, имевших место в истории физики. Такие материалы полезно обсудить в классе или на занятиях кружка по физике и совместными усилиями выяснить, какие научные взгляды способствовали дальнейшему развитию физики.

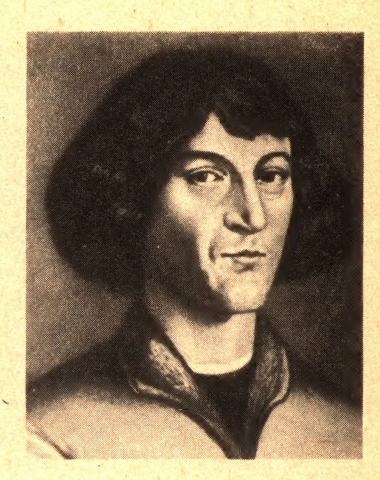
В экспериментальных работах читатель найдет описание впервые осуществленных опытов и сделанных на их основе открытий. Экспериментальные факты являются золотым фондом физической науки. Те из них, что изложены на страницах этой книги, входят в основном и в школьный курс физики.

Работая с этой книгой в процессе изучения школьного курса физики, читатель сможет взглянуть на физические явления и законы глазами их первооткрывателей, познакомиться с методами рассуждений ученых, их подходом к познанию природы, оценить соотношение между экспериментом и теорией в процессе развития физики.

Составители данной хрестоматии надеются, что она сыграет положительную роль в изучении школьниками физики и будет содействовать развитию у них творческих способностей и интереса к физической науке.

I. ЗАКОНЫ МЕХАНИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ

КОПЕРНИК[1]


Николай Коперник

Еще в древности высказывались мнения, что Земля не является неподвижной, а вращается вокруг своей оси и вокруг Солнца, но эти идеи не получили развития. Одновременно существовало представление о неподвижности Земли, которое разделяло большинство ученых и философов древности.

В средние века укрепилось представление, согласно которому Земля неподвижна, находится в центре Вселенной, а все небесные тела движутся вокруг нее. Это представление хорошо гармонировало с религиозным мировоззрением и поддерживалось церковью, которая имела неограниченную власть. Наука того времени находилась во власти церкви.

Великий польский ученый Николай Коперник на основе своих наблюдений пришел к выводу об ошибочности учения о неподвижности Земли и разработал другую теорию строения мира, которую опубликовал перед своей смертью. Эта теория послужила началом научной революции, в ходе которой наука выступила против церкви за свою независимость. Энгельс писал: «Революционным актом, которым исследование природы заявило о своей независимости... было издание бессмертного творения, в котором Коперник бросил — хотя и робко и, так сказать, лишь на смертном одре — вызов церковному авторитету в вопросах природы. Отсюда начинает свое летоисчисление освобождение естествознания от теологии (богословия.— Ред.) ...»*.

Приводим выдержки из сочинения Коперника «О вращениях небесных сфер», в котором была изложена и получила обоснование гелиоцентрическая система мира.

---

* Энгельс Ф. Диалектика природы. — Маркс К., Энгельс Ф. Соч., 2-е изд., т. 20, с. 347.

Из сочинения Н. Коперника «О вращениях небесных сфер»

Глава V

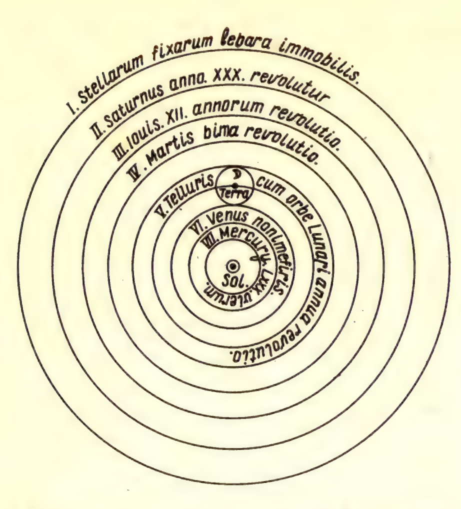
О том, свойственно ли Земле круговое движение, и о месте Земли[2]

Уже доказано, что Земля тоже имеет форму шара; полагаю, что нужно посмотреть, не вытекает ли из ее формы и движение, а также определить занимаемое ею место во Вселенной; без этого невозможно получить надежную теорию небесных явлений. Большинство авторов[3] согласно с тем, что Земля покоится в середине мира, так что противоположное мнение они считают недопустимым и даже достойным осмеяния. Однако, если мы разберем дело внимательнее, то окажется, что этот вопрос еще не решен окончательно, и поэтому им никак нельзя пренебрегать.

Действительно, всякое представляющееся нам изменение места происходит вследствие движения наблюдаемого предмета или наблюдателя или, наконец, вследствие неодинаковости перемещений того и другого, так как не может быть замечено движение тел, одинаково перемещающихся по отношению к одному и тому же (я подразумеваю движение между наблюдаемым и наблюдателем). А ведь Земля представляет то место, с которого наблюдается упомянутое небесное круговращение и открывается нашему взору.

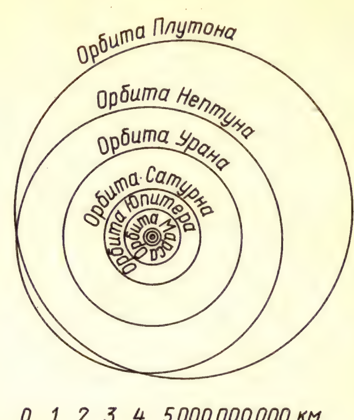
Таким образом, если мы сообщим Земле какое-нибудь движение, то это движение обнаружится таким же и во всем, что находится вне Земли, но только в противоположную сторону, как бы проходящим мимо; таким прежде всего будет и суточное вращение. Мы видим, что оно увлекает весь мир, за исключением Земли и того, что ее непосредственно окружает. А если допустить, что небо вовсе не имеет такого движения, а вращается с запада на восток Земли, то всякий, кто это серьезно обдумает, найдет, что все видимые восходы и заходы Солнца, Луны и звезд будут происходить точно так же. Так как именно небо все содержит и украшает и является общим вместилищем, то не сразу видно, почему мы должны приписывать движение скорее вмещающему, чем вмещаемому, содержащему, чем содержимому. Такого мнения держались пифагорейцы[4] Гераклит и Экфант и Никет сиракузянин у Цицерона, придававшие Земле вращение в середине мира. Они действительно полагали, что звезды заходят вследствие загораживания их Землей и восходят, когда она отступает.

Когда мы это допустим, то возникнет другое, не менее важное сомнение о месте Земли, хотя почти все принимают и верят, что Земля находится в середине мира. Поэтому если кто-нибудь станет отрицать, что Земля находится в середине мира, или его центре, то все-таки допустит, что ее расстояние от центра не так уж велико, чтобы его можно было сравнивать с расстоянием до





Модель солнечной системы по Копернику.



Современная схема строения солнечной системы.

сферы неподвижных звезд, но вместе с тем оно будет достаточно большим и заметным по отношению к орбитам Солнца и других светил, и будет считать, что их движение представляется неравномерным вследствие того, что оно определяется другим центром, отличным от центра Земли, то, пожалуй, приводимая им причина неравномерности кажущегося движения не будет нелепой.

Действительно, поскольку планеты наблюдаются и более близкими к Земле и более удаленными, то это необходимо говорит о том, что центр Земли не есть центр их кругов. Ведь никак не установлено, Земля ли к ним подходит и уходит или они приближаются к ней и удаляются. Не удивительно также, если кто-нибудь, кроме упомянутого суточного вращения, предположит у Земли и какое-то другое движение.

Мнение, что Земля вращается и даже имеет несколько движений и является одной из планет, как говорят, высказывал пифагореец Филолай[5], незаурядный математик, ради посещения которого Платон[6] не замедлил отправиться в Италию, как передают описывавшие жизнь Платона....

Глава VI

О неизмеримости неба по сравнению с величиной Земли

А что вся столь большая громада Земли не имеет никакой значащей величины по сравнению с небом, можно понять из того, что «ограничивающие» круги... делят всю небесную сферу[7] пополам, чего не могло бы быть, если бы величина Земли или расстояние от центра мира были значительными по сравнению

с небом. Действительно, круг, делящий сферу пополам, проходит через центр этой сферы и является наибольшим из кругов, которые можно описать.

...Итак, горизонт всегда делит пополам зодиак[8], являющийся большим кругом сферы. Но в сфере круг, пересекающий какой-нибудь из больших кругов пополам, будет и сам большим кругом. Следовательно, и горизонт будет одним из больших кругов, а центр его, как видно, совпадает с центром зодиака; хотя проведенная через центр Земли линия необходимо будет отличаться от той, которая проведена с ее поверхности, но вследствие неизмеримости неба по сравнению с Землей они становятся похожими на параллельные прямые, которые из-за чрезмерной удаленности конца кажутся одной линией, так как промежуток между ними по отношению к их длине становится неощутимым для чувств, как это доказывается в оптике.

Такие рассуждения достаточно ясно показывают, что небо неизмеримо велико по сравнению с Землей и представляет бесконечно большую величину; по оценке наших чувств Земля по отношению к небу, как точка к телу, а по величине, как конечное к бесконечному. Ничего другого это рассуждение, очевидно, не доказывает, и, понятно, отсюда не следует, что Земля должна покоиться в середине мира. И гораздо более удивительным было бы, если бы в двадцать четыре часа поворачивалась такая громада мира, а не наименьшая его часть, которой является Земля...

Глава VII

Почему древние полагали, что Земля неподвижна в середине мира и является как бы его центром

По этой причине древние философы и другими рассуждениями пытались доказать, что Земля находится в центре мира; в этом они видят важнейшую причину тяжести и легкости. Конечно, элемент Земли самый тяжелый и все весомые тела движутся к ней, стремясь к самой глубокой ее середине. Поскольку Земля шаровидна и к ней отовсюду движутся по своей природе все тяжелые тела под прямым углом к ее поверхности, то они, если не были бы задержаны на ее поверхности, ринулись бы прямо к ее центру, так как прямая линия, встречающаяся под прямым углом с плоскостью горизонта в месте ее касания со сферой, ведет к центру сферы. Из того, что они движутся к центру, по-видимому, следует, что тела в середине находятся в покое. Тем более, следовательно, вся Земля будет находиться в середине и принимать в себя все падающие тела; она в силу своего веса будет оставаться неподвижной.

То же самое они пытаются доказать на основании законов движения и его природы. Аристотель говорит, что единому и простому телу присуще и простое движение; из простых же движений

одно прямолинейное, другое круговое; из прямолинейных одно идет вверх, другое вниз. Поэтому всякое простое движение идет или к середине вниз, или от середины вверх, или вокруг середины, и это движение круговое. Только земле и воде, которые считаются тяжелыми, следует двигаться вниз, т. е. стремиться к середине; воздух же и огонь, обладающие легкостью, должны двигаться вверх и удаляться от середины. И кажется вполне сообразным приписать этим четырем стихиям прямолинейное движение, а небесным телам предоставить вращаться кругом середины. Так утверждает Аристотель.

Следовательно, если бы Земля, говорит Птолемей Александрийский, вращалась хотя бы только суточным движением, то необходимо произошло бы противоположное сказанному. И это движение должно было быть чрезвычайно стремительным, а скорость его — выше всякой меры, так как в двадцать четыре часа нужно было бы описать всю окружность Земли. А то, что охвачено стремительным вращением, очевидно, совсем неспособно к воссоединению; даже соединенные его части рассеятся, если только не удерживаются каким-нибудь прочным скреплением, и уже давно Земля, распавшись, разрушила бы самое небо (что уже совсем смехотворно), а живые существа и другие неприкрепленные тяжести и подавно никак не могли бы остаться несброшенными с нее. Также и отвесно падающие тела не могли бы двигаться по прямой к назначенному им месту, которое уже ускользнет от них при такой быстроте. Точно так же облака и другие тела, висящие в воздухе, мы постоянно видели бы движущимися на запад.

Глава VIII
Опровержение приведенных доводов и их несостоятельность

На основании этих и подобных им причин утверждают, что Земля покоится в середине мира и что, вне сомнения, именно так дело и обстоит. Действительно, если кто-нибудь выскажет мнение, что Земля вращается, то ему придется сказать, что это движение является естественным, а не насильственным[9]. Все то, что происходит согласно природе, производит действия, противоположные тем, которые получаются в результате насилия. Те вещи, которые подвергаются действию силы или напора, необходимо должны распасться и существовать долго не могут. Все то, что делается согласно природе, находится в благополучном состоянии и сохраняется в своем наилучшем составе. Поэтому напрасно боится Птолемей, что Земля и все земное рассеется в результате вращения, происходящего по действию природы; ведь это вращение будет совсем не таким, какое производится искусственно или достижимо человеческим умом.

Но почему не предполагать этого в еще большей степени от-

носительно Вселенной, движение которой должно быть во столько раз быстрее, во сколько раз небо больше Земли?..

Но тогда зачем же еще нам сомневаться? Скорее следует допустить, что подвижность Земли вполне естественно соответствует ее форме, чем думать, что движется весь мир, пределы которого неизвестны и непостижимы. И почему нам не считать, что суточное вращение для неба является видимостью, а для Земли действительностью? И все это так и обстоит, как сказал бы Вергилиев Эней[10]: «В море из порта идем и отходят и земли, и грады». Так при движении корабля в тихую погоду все находящееся вне представляется мореплавателям движущимся, как бы отражая движение корабля, а сами наблюдатели, наоборот, считают себя в покое со всем с ними находящимся. Это же, без сомнения, может происходить и при движении Земли, так что мы думаем, будто вокруг нее вращается вся Вселенная.

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Николай Коперник* (1473—1543) — польский ученый. Родился в г. Торунь. Сохранилось мало документальных данных о его жизни и деятельности. Первая обстоятельная биография Коперника была написана спустя сто лет после его смерти. Коперник — выходец из купеческой семьи. Отец его, уроженец Кракова, занимался торговлей и многие годы был выборным судьей в г. Торунь; он умер, когда Копернику было 10 лет. После смерти отца воспитанием Коперника занимался его дядя — будущий епископ. Он дал Копернику разностороннее образование. Закончив кафедральную школу во Влоцлавске, Коперник в возрасте 19 лет поступил в Краковский университет, где основательно изучал астрономию и искусство наблюдений. Для продолжения образования он затем в 1496 г. переехал в Италию. Сначала он в знаменитом Болонском университете изучал юридические науки, а также математику. В 1501 г. он продолжает образование в Падуанском университете, где изучает медицину. В 1503 г. ему был вручен докторский диплом. Возвратившись на родину, Коперник вскоре переехал во Фромборк, где занял духовную должность.

Научная деятельность Коперника во Фромборке была весьма разнообразной. Здесь он разрабатывает новую, гелиоцентрическую, систему мира, конструирует простейшие инструменты для наблюдения и измерения высот небесных светил, проводит астрономические наблюдения. К 1530 г. Коперник в основном заканчивает разработку своего учения о системе мира, но лишь в 1543 г. Коперник решается напечатать рукопись с полным изложением гелиоцентрической системы. В последние дни жизни Коперник увидел первый экземпляр напечатанного его бессмертного произведения «О вращениях небесных сфер».

[2] В этой главе высказывается идея об относительности движения.

[3] Коперник имеет в виду последователей великого философа древности Аристотеля (384—322 гг. до н. э.) и знаменитого древнего астронома Птолемея. Согласно их учению в центре мира находится Земля и вокруг нее вращаются Солнце, Луна, планеты и неподвижные на небесной сфере звезды. Такие представления были связаны с аристотелевыми законами движения, согласно которым не ускорение, а скорость движения должна быть пропорциональна действующей на тело силе, и следовательно, если на тело не действует сила,

то оно должно оставаться в покое. Аристотелю еще не был известен закон инерции. Согласно аристотелевским представлениям тела, не закрепленные на Земле, должны были бы остаться на месте и соскальзывать с Земли, если бы она двигалась. Такой довод против признания движения Земли высказал, в частности, и Птолемей (см. главу VII работы Н. Коперника).

[4] Коперник перечисляет древних ученых и мыслителей, которые высказывали мнение о движении Земли.

[5] См. прим. 4.

[6] *Платон* (428 или 427 г. до н. э.— 348 или 347 г. до н. э.) — древнегреческий философ.

[7] Небесная сфера — воображаемая вспомогательная сфера произвольного радиуса, на которую проецируются небесные светила.

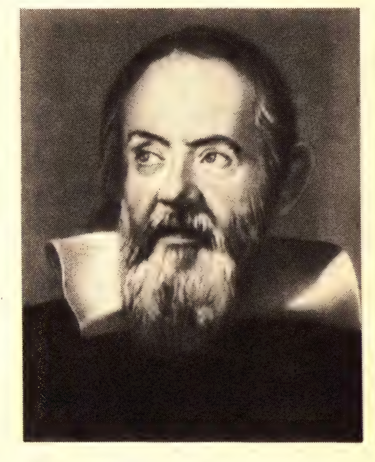
[8] Зодиак — совокупность двенадцати созвездий (зодиакальных), по которым Солнце совершает свой видимый путь в течение года. Большинство этих созвездий еще в глубокой древности было названо именами животных (рыба, рак, лев и др.), откуда и происходит название *зодиак* (от греческого *zōon* — животное).

[9] Согласно учению Аристотеля все движения можно разделить на естественные и насильственные. Естественные движения совершаются сами собой, без приложения посторонних сил, и к ним относили движения небесных тел по небесной сфере, падение тяжелых тел на Землю и подъем легких тел вверх. Все остальные движения (например, движение повозки) происходят под действием сил и относятся к насильственным. Если приписать Земле движение, то сразу встает вопрос, под действием какой силы это движение происходит. Не зная о силе тяготения, Коперник предлагает считать движение Земли вокруг Солнца естественным, т. е. таким же, как и движение небесных тел.

[10] *Вергилий* (70—19 гг. до н. э.) — римский поэт, написавший эпическую поэму «Энеида» (главный ее герой — Эней).

ГАЛИЛЕЙ[1]

Несмотря на то что в книге Коперника «О вращениях небесных сфер», вышедшей в 1543 г., содержалось утверждение о движении Земли, противоречившее церковным догмам и учению Аристотеля, эта книга не была запрещена. Духовенство старалось внушить читателям, что утверждение Коперника о движении Земли вокруг Солнца представляет собой лишь рабочую гипотезу, с помощью которой упрощается расчет движения небесных тел.



Галилео Галилей

Передовые ученые того времени считали своим долгом распространять теорию Коперника, доказывать ее справедливость. Великий итальянский ученый Галилей на основе своих астрономиче-

ских открытий показал, что Земля вопреки учению Аристотеля является таким же небесным телом, как и Луна и планеты. На основе своих исследований по механике он открыл принцип относительности механического движения и объяснил, почему люди, находящиеся на Земле, не замечают ее движения. При этом Галилей заложил основы классической механики. Кроме принципа относительности, он открыл закон инерции и ряд других положений механики. Свои открытия по астрономии и механике, которые имели отношение к защите учения Коперника, он изложил в книге «Диалог о двух главнейших системах мира — птолемеевой и коперниковой», написанной в форме беседы трех лиц.

Из книги Г. Галилея «Диалог о двух главнейших системах мира — птолемеевой и коперниковой»

Рассуждение Аристотеля против движения Земли несостоятельно...

Сальвиати[2]. — ...Итак, Аристотель говорит, что достовернейший аргумент в пользу неподвижности Земли это то, что тела, брошенные отвесно вверх, как мы видим, возвращаются по той же линии в то же место, откуда были пущены... Этого не могло бы случиться, если бы Земля двигалась, ибо за то время, как брошенное тело движется вверх и вниз, отделившись от земли, то место, где имело начало движение брошенного тела, переместилось бы благодаря обращению Земли на большее расстояние к востоку, и на таком же расстоянии от этого места брошенное тело ударилось бы о землю после падения...

Скажите же мне, если бы камень, выпущенный с вершины мачты плывущего с большой скоростью корабля, упал в точности в то же самое место, куда он падает, когда корабль стоит неподвижно, то какую службу бы вам этот опыт с падением для решения вопроса, стоит ли судно неподвижно или же плывет?

Симпличио. — Решительно никакой...

Сальвиати. — ...Опыт показывает[3]... что камень всегда упадет в одно и то же место корабля, неподвижен ли он или движется с какой угодно скоростью. Отсюда, так как условия Земли и корабля одни и те же, следует, что из факта всегда отвесного падения камня к подножью башни нельзя сделать никакого заключения о движении или покое Земли.

Симпличио.— Если бы вы отослали меня к иным доводам, а не к опыту, то споры наши, я думаю, окончились бы не так скоро...

Сальвиати. — ...Если у вас имеется плоская поверхность, совершенно гладкая, как зеркало, а из вещества твердого, как сталь, не параллельная горизонту, но несколько наклонная, и если вы положите на нее совершенно круглый шар из вещества

тяжелого и весьма твердого, например из бронзы, то что, думаете вы, он станет делать, будучи предоставлен самому себе? Не думаете ли вы (как я думаю), что он будет неподвижным?[4]

Симпличио. — Если эта поверхность наклонна?

Сальвиати. — Да, таково задание.

Симпличио. — Никоим образом не думаю, чтобы он остался неподвижным; наоборот, я уверен, что он сам собою двигался бы по наклону...

Сальвиати. — Именно. И как долго продолжал бы двигаться шар и с какой скоростью? Заметьте, что я говорил о шаре совершенно круглом и о плоскости совершенно гладкой, чтобы устранить все внешние и случайные препятствия. Я хочу также, чтобы вы отвлеклись от сопротивления, оказываемого воздухом своему разделению и от всех случайных помех, какие могут встретиться.

Симпличио.— Я все прекрасно понял и на ваш вопрос отвечу так: шар продолжал бы двигаться до бесконечности, лишь бы продолжалась такая плоскость... и чем больше будет наклон, тем больше будет и скорость.

Сальвиати. — Но если бы кому-нибудь захотелось, чтобы этот же шар двигался по той же плоскости вверх, думаете ли вы, что он пошел бы таким образом?

Симпличио. — Самостоятельно нет, но втащить его или с силой бросить вверх можно.

Сальвиати. — А если бы он был приведен в такое движение насильственно переданным ему импульсом, каково и сколь продолжительно было бы его движение?

Симпличио. — Движение шло бы, постепенно ослабевая и замедляясь, поскольку оно противоестественно, и было бы более продолжительным или более кратким в зависимости от большей или меньшей крутизны подъема.

Сальвиати. — Как будто вы объяснили мне сейчас случаи движения по двум разного рода плоскостям: на плоскости наклонной движущееся тело самопроизвольно опускается, двигаясь с непрерывным ускорением, так что требуется применить силу для того, чтобы удержать его в покое; на плоскости, поднимающейся вверх, требуется сила для того, чтобы двигать тело вверх, и даже для того, чтобы удержать его в покое, причем сообщенное телу движение непрерывно убывает, так что в конце концов вовсе уничтожается. Добавим еще, что, кроме того, в том и другом случае возникает различие в зависимости от того, больше или меньше наклон или подъем плоскости, причем при большем наклоне имеет место большая скорость, и наоборот, при поднимающейся плоскости то же тело, движимое той же самой силой, продвигается на тем большее расстояние, чем меньше высота подъема. А теперь скажите мне, что произошло бы с тем же движущимся телом на поверхности, которая не поднимается и не опускается?

Симпличио. — Здесь мне нужно немного подумать над ответом. Раз там нет наклона... и раз там нет подъема, не может быть противодействия движению... мне кажется, следовательно, что оно естественно должно оставаться неподвижным...

Сальвиати. — Так, думаю я, было бы, если бы шар положить неподвижно; но если придать ему импульс движения в каком-нибудь направлении, то что воспоследовало бы?

Симпличио. — Воспоследовало бы его движение в этом направлении.

Сальвиати. — Но какого рода было бы это движение: непрерывно ускоряющееся, как на плоскости наклонной, или постепенно замедляющееся, как на плоскости поднимающейся?

Симпличио. — Я не могу открыть здесь причины для ускорения или для замедления, поскольку тут нет ни наклона, ни подъема.

Сальвиати. — Так, но если здесь нет причины для замедления, то тем менее может находиться здесь причина для покоя. Поэтому сколь долго, полагаете вы, продолжалось бы движение этого тела?

Симпличио. — Столь долго, сколь велика длина такой поверхности без спуска и подъема.

Сальвиати. — Следовательно, если бы такое пространство было беспредельно, движение по нему равным образом не имело бы предела, т. е. было бы постоянным?

Симпличио. — Мне кажется, что так, если бы тело было из прочного материала.

Сальвиати. — Это уже предполагается, поскольку было сказано, что устраняются все привходящие и внешние препятствия, а разрушаемость движущегося тела есть одно из привходящих препятствий. Скажите мне, что именно считаете вы причиной того, что этот шар движется по наклонной плоскости самостоятельно, а по плоскости поднимающейся не иначе, как насильственно?

Симпличио. — То, что тяжелые тела имеют свойство естественно двигаться к центру Земли и лишь насильственно вверх к периферии, наклонная же поверхность такова, что приближает к центру, а поднимающаяся удаляет.

Сальвиати. — Следовательно, поверхность, которая не имела бы ни наклона, ни подъема, должна была бы во всех своих частях одинаково отстоять от центра. Но из подобных плоскостей есть ли где такие в мире?

Симпличио.— Такие есть,— хотя бы поверхность нашего земного шара, будь только она вполне гладкой, а не такой, какова она на самом деле, т. е. неровной и гористой; такова, например, поверхность воды, когда она тиха и спокойна.

Сальвиати. — Следовательно, корабль, движущийся по морской глади, есть одно из тех движущихся тел, которые скользят по одной из таких поверхностей без наклона и подъема и

которые поэтому имеют склонность в случае устранения всех случайных и внешних препятствий двигаться с раз полученным импульсом постоянно и равномерно?

Симпличио. — Кажется, что так должно быть.

Сальвиати. — И тот камень, который находится на вершине мачты, не движется ли он, переносимый кораблем?.. И это движение не столь же ли быстро, как движение корабля?

Симпличио. — До сих пор все идет хорошо. Но дальше?

Сальвиати. — Не выведете ли вы, наконец, сами и последнее заключение, если сами знаете вперед все предпосылки?

Симпличио. — Вы хотите назвать последним заключение то, что этот камень... не способен ни отставать от хода корабля, ни опережать его и должен в конце концов упасть в то самое место, куда упал бы, когда корабль стоит неподвижно; это, я думаю, и случилось бы, не будь здесь внешних препятствий...

Сальвиати. — ...Я думаю, синьор Симпличио убедился, что из наблюдений над падением камня всегда в одно и то же место нельзя вывести заключение о движении или неподвижности корабля, а если сказанного до сих пор недостаточно, то есть еще опыт со средой, который может ему все доказать... Имеете ли вы, синьор Симпличио, еще что-нибудь возразить по этому поводу?

Симпличио. — Ничего, кроме того, что я еще до сих пор не вижу, чтобы и подвижность Земли была доказана.

Сальвиати. — Я совсем и не претендовал доказать ее; я хотел только показать, что из опыта, приводимого противниками в качестве аргумента в пользу ее неподвижности, ничего нельзя извлечь...

Замечательное свойство движения брошенных тел

Сагредо. — ...Пусть корабль стоит неподвижно, а падение камня с вершины мачты продолжается в течение двух биений пульса. Пусть теперь корабль движется, и тот же камень пусть будет пущен из того же самого места; как сказано, он потратит время, равное двум ударам пульса, чтобы дойти до низа, а за этот срок корабль пройдет, скажем, двадцать локтей[5], так что истинное движение[6] камня окажется наклонной линией, гораздо более длинной, чем первая прямая и перпендикулярная, составлявшая только длину мачты; тем не менее камень пройдет его в то же самое время. Представим себе опять, что движение корабля значительно ускорилось; тогда камень при падении будет вынужден пройти по еще более наклонной и длинной линии, чем предыдущая; и вообще при возрастании скорости движения корабля до любой степени падающий камень будет чертить свои наклонные линии все более и более длинными и все же будет проходить их все в течение тех же двух биений пульса...

Сальвиати. — Ваше рассуждение прекрасно по своей новизне, и если явление действительно таково, то оно достойно

удивления, а в истинности его я не сомневаюсь; если бы не имелось привходящего сопротивления воздуха...

Симпличио. — Я еще не чувствую себя совершенно свободным от всех сомнений; может быть, это присущий мне недостаток, но я усваиваю не столь легко и быстро, как синьор Сагредо. Мне кажется, что если то движение, которому причастен камень, пока он находится на мачте корабля, должно сохраняться в нем нерушимо... даже после того, как он оказывается разобщенным с кораблем, то подобное этому должно было бы происходить и со всадником, быстро скачущим на коне, если он выпустит из рук шар, каковой после падения на землю должен будет продолжать следовать в своем движении за бегом коня, не отставая от него. Я не думаю, что такое явление наблюдалось, исключая, может быть, только тот случай, когда всадник бросит шар с силой в сторону движения; без этого же, я думаю, шар останется на земле там, куда он упадет.

Сальвиати. — Я думаю, вы весьма заблуждаетесь, и уверен, что опыт покажет вам противное: шар, достигнув земли, будет двигаться вместе с конем и не отстанет от него, если только его не остановят негладкость и неровность пути. И основание для того кажется мне достаточно ясным: ведь, когда вы, стоя неподвижно, покатите шар по земле, не продолжает ли он движение даже вне вашей руки?..

Опыт, показывающий несостоятельность всех опытов, приводимых против движения Земли

Сальвиати. — ...И здесь в качестве последнего подтверждения ничтожности всех приведенных примеров мне кажется своевременным и уместным показать способ, которым легче всего проверить их на опыте. Уединитесь с кем-либо из друзей в просторное помещение под палубой какого-нибудь корабля, запаситесь мухами, бабочками и другими подобными мелкими летающими насекомыми; пусть будет у вас там также большой сосуд с водой и плавающими в нем маленькими рыбками; подвесьте, далее, наверху ведерко, из которого вода будет падать капля за каплей в другой сосуд с узким горлышком, подставленный внизу. Пока корабль стоит неподвижно, наблюдайте прилежно, как мелкие летающие животные с одной и той же скоростью движутся во все стороны помещения; рыбы, как вы увидите, будут плавать безразлично во всех направлениях; все падающие капли попадут в подставленный сосуд, и вам, бросая какой-нибудь предмет, не придется бросать его с большей силой в одну сторону, чем в другую, если расстояния будут одни и те же; и если вы будете прыгать сразу двумя ногами, то сделаете прыжок на одинаковое расстояние в любом направлении. Прилежно наблюдайте все это, хотя у вас не возникает никакого сомнения в том, что пока корабль стоит неподвижно, все должно происходить именно так.

Заставьте теперь корабль двигаться с любой скоростью и тогда (если только движение будет равномерным и без качки[7] в ту и другую сторону) во всех названных явлениях вы не обнаружите ни малейшего изменения и ни по одному из них не сможете установить, движется ли корабль или стоит неподвижно. Прыгая, вы переместитесь по полу на то же расстояние, что и раньше, и не будете делать бóльших прыжков в сторону кормы, чем в сторону носа, на том основании, что корабль быстро движется, хотя за то время, как вы будете в воздухе, пол под вами будет двигаться в сторону, противоположную вашему прыжку, и, бросая какую-нибудь вещь товарищу, вы не должны будете бросать ее с большей силой, когда он будет находиться на носу, а вы на корме, чем когда ваше взаимное положение будет обратным; капли, как и ранее, будут падать в нижний сосуд, и ни одна не упадет ближе к корме, хотя, пока капля находится в воздухе, корабль пройдет много пядей; рыбы в воде не с бóльшим усилием будут плыть к передней, чем к задней части судна; настолько же проворно они бросятся к пище, положенной в какой угодно части судна... И причина согласованности всех этих явлений заключается в том, что движение корабля обще всем находящимся на нем предметам, так же как и воздуху...

Сагредо. — Хотя во время плавания мне не приходило на ум намеренно производить такие наблюдения, я во всяком случае более чем уверен, что они происходят именно так, как рассказано; в подтверждение этого припоминаю, что сотни раз, сидя в своей каюте, я спрашивал себя, движется корабль или стоит неподвижно; иногда, в задумчивости, я полагал, что корабль движется в одном направлении, тогда как движение его шло в сторону противоположную. Поэтому я теперь чувствую себя удовлетворенным и совершенно убежден в отсутствии всякой ценности всех опытов, приводимых для доказательства большей вероятности отсутствия, чем существования обращения Земли...

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Галилео Галилей* (1564—1642), итальянский ученый, родился в г. Пизе, известном своей знаменитой наклонной башней. Учился сначала в монастырской школе, затем в университете. Уже в студенческие годы Галилей открыл, что период колебаний маятника не зависит от амплитуды (закон изохронности колебаний).

В 1589 г. он получил место профессора в Пизанском университете. Здесь Галилей занимается исследованиями по механике и астрономии: изучает законы падения тел, движение тел на наклонной плоскости и ведет астрономические наблюдения. Опираясь на результаты своих исследований, Галилей приходит к выводу, что учение Аристотеля о строении Вселенной и механическом движении ошибочно. Галилей начинает выступать с критикой этого учения, чем вызывает неодобрительное отношение к нему со стороны других профессоров университета и духовенства, и был вынужден покинуть Пизу. В 1592 г. он переходит в Падуан-

ский университет, где продолжает свою деятельность по обоснованию и защите учения Коперника. Большую роль в решении этой задачи сыграло изобретение телескопа. До начала XVII в. астрономы вели наблюдения за небесными телами невооруженным глазом. В конце XVI в. в Голландии была изобретена зрительная труба. Галилей узнал об этом изобретении и попытался сам сконструировать такую трубу.

Его попытки увенчались успехом. В 1609 г. он сконструировал трубу-телескоп, которая состояла из двух линз: собирающей — объектива и рассеивающей — окуляра. Первая зрительная труба Галилея давала увеличение более чем в 30 раз. То, что увидел Галилей на небе, привело его в восхищение. Перед ним открылся новый мир. «Я вне себя от изумления», — писал он.

Галилей обогатил астрономию новыми открытиями. Им было обнаружено множество звезд, невидимых невооруженным глазом. Галилей открыл на Луне существование гор и впадин. Он увидел, что планеты наблюдаются в телескоп не как светящиеся точки, а как светящиеся диски, т. е. они подобны Луне, причем Венера совершенно так же, как и Луна, меняет фазы. Галилей открыл четыре спутника Юпитера. Все эти результаты наблюдений явились доводом в защиту учения Коперника; они показали, что Земля не занимает особого места во Вселенной, а является таким же небесным телом, как и остальные планеты.

В 1610 г. Галилей переехал во Флоренцию, где опубликовал свои открытия в области астрономии. В 1616 г. церковь официально осудила учение Коперника; его книга «О вращениях небесных сфер» была запрещена. Однако Галилей, убежденный в научной достоверности системы Коперника, упорно работает над ее обоснованием. В 1632 г. вышла книга Галилея «Диалог о двух главнейших системах мира — птолемеевой и коперниковой». Форма диалога помогла отвести обвинения цензуры, поскольку в этом обсуждении двух систем мира он прямо не указывал на то, что истинным является учение Коперника. Однако церковь сразу обратила внимание на книгу. Папа Римский отдал приказ начать процесс против ее автора. В 1633 г. больного 70-летнего Галилея доставили в Рим. Ценой угроз удалось вырвать у Галилея формальное отречение от своих взглядов на систему мира, однако остановить распространение учения Коперника этим не удалось. После процесса Галилей поселился близ Флоренции, где жил под надзором инквизиции. Он продолжал заниматься научной работой. В этот период Галилей заканчивает свой знаменитый труд «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки» (1638 г.), в котором он изложил свои исследования в области механики, рассмотрел движение тел по наклонной плоскости, колебания маятника, падение тел и т. д.

Галилей умер в 1642 г. Инквизиторы не допустили похоронить его там, где он завещал; долгое время не разрешали также поставить на его могиле памятник; они разыскивали его переписку и рукописи, чтобы их уничтожить. Ученики Галилея сохранили и восстановили его работы.

[2] Изложение своих идей в защиту системы Коперника Галилей ведет от двух лиц — Сальвиати и Сагредо. Третий собеседник в диалоге — Симпличио (что означает в переводе на русский язык «простак») — знаток и сторонник взглядов Аристотеля и Птолемея.

[3] Галилей все доводы Аристотеля против представления о движении Земли опровергает с помощью опытов. Ученые и ранее в своих исследованиях опирались на опыт; но Галилей впервые разработал научный метод опытного познания, т. е.

показал, каким образом из опыта должно строиться познание. Метод научного познания Галилея состоит в следующем: из наблюдений и опытов формируется предположение — гипотеза, которая хотя и является обобщением опытов, но включает в себя нечто новое, что непосредственно не содержится в каждом конкретном опыте. Гипотеза дает возможность вывести логическим (математическим) путем определенные следствия, предсказать некоторые новые факты; эти факты можно проверить на опыте. Проверка следствий и подтверждает гипотезу — превращает ее в научную теорию или научный закон.

[4] Анализируя опыт с наклонной плоскостью и шаром, Галилей раскрывает содержание закона инерции (само название «закон инерции» появилось позже). Общая формулировка этого закона была дана Декартом, а затем Ньютоном. Несмотря на это, автором закона инерции считают Галилея.

[5] «Локоть» — старинная мера длины, соответствующая длине локтевой кости (около полуметра).

[6] Здесь под истинным движением подразумевается движение относительно Земли.

[7] На примере данного опыта Галилей разъясняет принцип относительности в механике.

ГЮЙГЕНС[1]

Большой вклад в развитие механики в период между Галилеем и Ньютоном был внесен знаменитым голландским ученым Гюйгенсом. Опираясь на исследования Галилея, он решил ряд задач механики. Он изучил колебания маятника и вывел формулу их периода. Далее он определил выражение для центростремительного ускорения при движении тела по окружности. Наконец, он рассмотрел задачу об упругом ударе шаров. При этом он впервые применил принцип относительности Галилея. Отрывок из работы, в которой рассматривается упругий центральный удар двух одинаковых шаров, приводится ниже.



Христиан Гюйгенс

Из сочинения Х. Гюйгенса «О движении тел под влиянием удара»

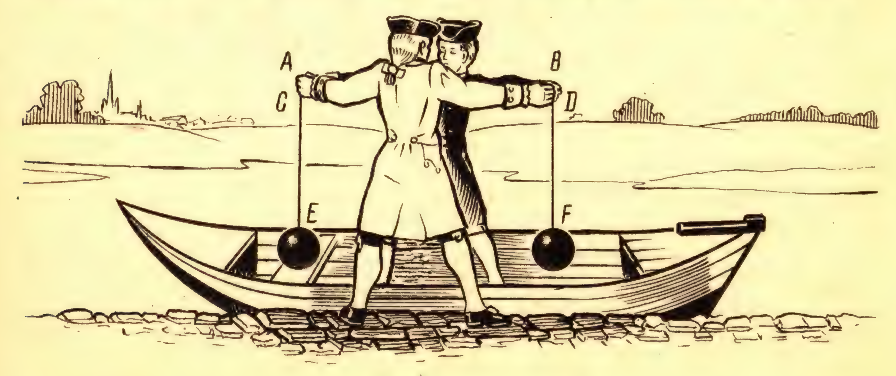
Движение тел, а также их одинаковые или разные скорости надо рассматривать как относительные по отношению к другим телам, которые мы считаем покоящимися, не учитывая того, что как те, так и другие тела могут участвовать в другом, общем

движении. Поэтому два тела, соударяясь, даже в случае, если оба вместе участвуют еще в другом равномерном движении, для лица, также участвующего в общем движении, действуют друг на друга так, как будто бы этого общего движения не существовало[2]...

Предложение[3] 1

Если с покоящимся телом соударяется одинаковое с ним тело, то ударившееся тело приходит в состояние покоя, а покоящееся тело приходит в движение со скоростью ударившегося о него.

Представим себе, что лодка плывет у берега по течению, и притом так близко к берегу, что пассажир лодки может подать руки человеку, стоящему на берегу. Пусть пассажир лодки держит в своих руках *A* и *B* . . . два одинаковых, подвешенных на нитях, тела *E* и *F*... Пассажир лодки, двигая свои руки навстречу одна другой с одинаковой скоростью по отношению к себе и лодке, вызовет удар шаров, которые затем отскочат один от другого с одинаковыми скоростями относительно пассажира и лодки (по второй гипотезе). Пусть лодка движется влево с той же самой скоростью, с которой рука *A* движется вправо. Ясно, что относительно берега и человека, стоящего на берегу, рука *A* пассажира находится в покое, а рука *B*, с точки зрения того же человека, движется с удвоенной скоростью. Представим себе теперь, что человек, стоящий на берегу, схватил своей рукой *C* руку *A* пассажира и вместе с тем конец нити, на которой висит шар *E*, а другой рукой *D* — руку *B* пассажира, держащую нить, на которой подвешен шар *F*. Тогда произойдет следующее: в то время как пассажир лодки двигает шары навстречу друг к другу с одинаковой скоростью (относительно себя и лодки), человек, стоящий на берегу, ударяет по неподвижному шару *E* шаром *F*. Для пассажира лодки, двигающего шары указанным способом, не имеет никакого значения то обстоятельство, что человек на берегу схватил его руки и концы нитей, так как руки человека на берегу только участвуют в движении, но движению не мешают... По той же причине человеку на берегу,



который ударяет шаром F по неподвижному шару E, не мешает сплетение рук с пассажиром лодки, если только руки A и C покоятся относительно берега и человека, стоящего на берегу, а руки D и B движутся с одинаковой скоростью. Ввиду того, что, как сказано, шары E и F отскакивают с одинаковыми скоростями... относительно лодки и пассажира, а сама лодка за это время проплывает влево, то относительно берега и человека, стоящего на берегу, шар F после удара останавливается, а шар E, с той же точки зрения, движется влево с двойной скоростью, той же самой, с которой человек на берегу двигал шар F к шару E. Таким образом, мы доказали, что относительно человека, стоявшего на берегу и ударявшего по неподвижному шару другим шаром, одинаковым с первым, первоначально двигавшийся шар потерял при ударе все свое движение, а первоначально неподвижный шар приобрел все движение. Это и требовалось доказать.

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Христиан Гюйгенс* (1629—1695) — голландский математик, физик и астроном. Родился в Гааге. Отец его был известным голландским поэтом и влиятельным государственным деятелем.

Уже в ранние годы Гюйгенс проявил исключительные способности к математике.

Поступив в Лейденский университет, Гюйгенс по настоянию отца обучался юридическим наукам, но не прекращал занятия по математике. Уже в студенческие годы Гюйгенс приобрел известность среди математиков. Из Лейдена он перешел в университет г. Брэда. Затем Гюйгенс совершил поездку в Данию, Швецию и, вернувшись на родину, напечатал свой первый труд по математике (об определении длины дуг окружностей эллипса и гиперболы), который поставил его в ряд лучших математиков того времени.

В 1655 г. Гюйгенс защитил во Франции диссертацию на степень доктора права. Наряду с этим он много времени уделяет занятиям по оптике. Он изготовил телескоп, превзошедший по качеству все подобные приборы того времени. Гюйгенс открыл спутник Сатурна.

В 1657 г. им были построены первые маятниковые часы.

В 1659 г. Гюйгенс напечатал книгу о Сатурне, в которой объяснял вид планеты. Он первый увидел и описал кольцо, окружающее Сатурн.

В 1663 г. Гюйгенс был избран членом Лондонского королевского общества (Английской академии наук). Он был первым иностранным членом этого общества. В 1665 г. Гюйгенса приглашают в Париж в только что основанную Королевскую академию наук в качестве ее председателя.

В Париже Гюйгенс пробыл 15 лет и выполнил за это время много прекрасных работ. В работе «Маятниковые часы» (1673 г.) он изложил теорию колебания маятника.

В 1668 г. Лондонское королевское общество предложило своим членам заняться решением задачи центрального удара. Гюйгенс оригинально решил эту задачу для упругих шаров. К парижскому периоду относится также написание трактата о свете.

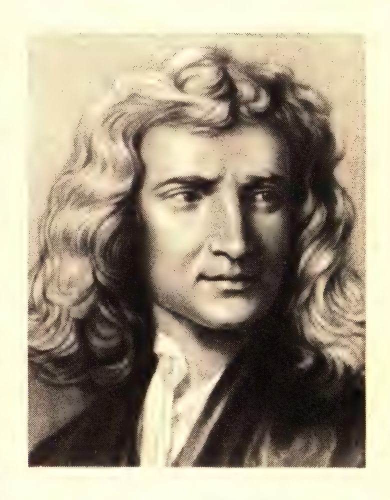
В 1681 г. Гюйгенс покинул Париж. Остальную часть своей жизни он провел на родине, в Гааге, занимаясь научными исследованиями. Часть его трудов, в том числе результаты исследования об упругом ударе и о центробежной силе, были напечатаны уже после его смерти.

[2] Так Гюйгенс формулировал классический принцип относительности.

[3] Здесь Гюйгенс опирается на известный из опыта факт: два равных упругих тела, движущихся навстречу друг другу с равными по модулю и противоположными по направлению скоростями, после соударения отскакивают одно от другого с теми же скоростями (в тексте это положение названо второй гипотезой). Кроме того, он пользовался классическим принципом относительности.

НЬЮТОН[1]

Итог развития механики в XVIII в. подвел великий английский ученый Исаак Ньютон. Он ввел основные понятия механики (сила, масса) и сформулировал ее законы. Ньютон открыл также закон всемирного тяготения. Применив его к движению небесных тел, он построил небесную механику, объяснив движение планет, их спутников, комет и т. д.



Исаак Ньютон

Ф. Энгельс писал: «До восемнадцатого века никакой науки не было; познание природы получило свою научную форму лишь в восемнадцатом веке или, в некоторых отраслях, несколькими годами раньше. Ньютон своим законом тяготения создал научную астрономию, разложением света — научную оптику, теоремой о биноме и теорией бесконечных — научную математику и познанием природы сил — научную механику»*.

Свои исследования по механике Ньютон изложил в книге «Математические начала натуральной философии», вышедшей в 1687 г.

Из книги И. Ньютона «Математические начала натуральной философии»

...Сочинение это нами предлагается как математические основания физики. Вся трудность физики, как будет видно, и состоит в том, чтобы по явлениям движения распознать силы природы, а затем по этим силам изъяснить остальные явления...

---

* Энгельс Ф. Положение Англии. — Маркс К., Энгельс Ф. Соч., изд. 2-е, т. 1, с. 599.

Определения

Определение I

Количество материи (масса)[2] есть мера таковой, устанавливаемая пропорционально плотности и объему ее...

Определение II

Количество движения[3] есть мера такового, устанавливаемая пропорционально скорости и массе...

Определение III

Врожденная сила материи[4] есть присущая ей способность сопротивления, по которой всякое отдельно взятое тело, поскольку оно предоставлено самому себе, удерживает свое состояние покоя или равномерное прямолинейное движение...

Определение IV

Приложенная сила[5] есть действие, производимое над телом, чтобы изменить его состояние покоя или равномерного прямолинейного движения...

Определение V

Центростремительная сила есть та, с которою тела к некоторой точке как к центру отовсюду притягиваются, гонятся или как бы то ни было стремятся...

Аксиомы или законы движения

Закон I. *Всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменять это состояние.*

Брошенное тело продолжает удерживать свое движение, поскольку его не замедляет сопротивление воздуха и поскольку сила тяжести не побуждает это тело вниз. Волчок, коего части вследствие взаимного сцепления отвлекают друг от друга от прямолинейного движения, не перестает вращаться (равномерно), поскольку это вращение не замедляется сопротивлением воздуха. Большие же массы планет и комет сохраняют свои движения, как поступательные, так и вращательные, совершающиеся в пространствах, менее сопротивляющихся, дольше.

Закон II. *Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует*[6].

Если какая-нибудь сила производит некоторое количество движения, то двойная сила производит двойное, тройная — тройное, будут ли они приложены разом все вместе или же

последовательно и постепенно. Это количество движения, которое всегда происходит по тому же направлению, как и производящая его сила, если тело уже находилось в движении, при совпадении направлений, прилагается к количеству движения тела, бывшему ранее, при противоположности — вычитывается, при наклонности — прилагается наклонно и соединяется с бывшим ранее сообразно величине и направлению каждого из них.

Закон III. *Действию всегда есть равное и противоположное противодействие, иначе взаимодействия двух тел друг на друга между собой равны и направлены в противоположные стороны.*

Если что-либо давит на что-нибудь другое или тянет его, то оно само этим последним давится или тянется. Если кто нажимает пальцем на камень, то и палец его также нажимается камнем. Если лошадь тащит камень, привязанный к канату, то и обратно (если можно так выразиться) она с равным усилием оттягивается к камню, ибо натянутый канат своей упругостью производит одинаковое усилие на лошадь в сторону камня и на камень в сторону лошади, и насколько этот канат препятствует движению лошади вперед, настолько же он побуждает движение вперед камня. Если какое-нибудь тело, ударившись в другое тело, изменяет своею силою его количество движения на сколько-нибудь, то оно претерпит от силы второго тела в своем собственном количестве движения то же самое изменение, но обратно направленное, ибо давления этих тел друг на друга постоянно равны. От таких взаимодействий всегда происходят равные изменения не скоростей, а количеств движения, предполагая, конечно, что тела никаким другим усилиям не подвергаются. Изменения скоростей, происходящие также в противоположные стороны, будут обратно пропорциональны массам тел, ибо количества движения получают равные изменения. Этот закон имеет место и для притяжений, как это будет доказано в поучении...

Следствие IV. Центр тяжести системы двух или нескольких тел от взаимодействия тел не изменяет ни своего состояния покоя, ни движения; поэтому центр тяжести системы всех действующих друг на друга тел (при отсутствии внешних действий и препятствий) или находится в покое, или движется равномерно и прямолинейно.

...По отношению к центру тяжести системы нескольких тел имеет место тот же самый закон сохранения состояния покоя или равномерного и прямолинейного движения, как и для одного тела. Таким образом, поступательное количество движения отдельного ли тела, или системы тел надо всегда рассчитывать по движению центра тяжести их.

Следствие V. Относительные движения друг по отношению к другу тел, заключенных в каком-либо пространстве, одинаковы, покоится ли это пространство или движется равномерно и прямолинейно без вращения...

Поучение. ...Относительно притяжений дело может быть из-

ложено вкратце следующим образом: между двумя взаимно притягивающимися телами надо вообразить помещенным какое-либо препятствие, мешающее их сближению. Если бы одно из тел *A* притягивалось бы телом *B* сильнее, нежели тело *B* притягивается телом *A*, то препятствие испытывало бы со стороны тела *A* большее давление, нежели со стороны тела *B* и, следовательно, не осталось бы в равновесии. Преобладающее давление вызвало бы движение системы, состоящей из двух тел и препятствия, в сторону тела *B*, и в свободном пространстве эта система, двигаясь ускоренно, ушла бы в бесконечность. Такое заключение нелепо и противоречит первому закону, по которому система должна бы оставаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения. Отсюда следует, что оба тела давят на препятствие с равными силами, а значит и притягиваются взаимно с таковыми же.

Я производил подобный опыт с магнитом и железом: если их поместить каждый в отдельный сосуд и пустить плавать на спокойной воде, так, чтобы сосуды взаимно касались, то ни тот, ни другой не приходят в движение, но вследствие равенства взаимного притяжения сосуды испытывают равные давления и остаются в равновесии.

Подобным образом и притяжение между землею и отдельными ее частями взаимно...

О движении тел

...Предложение LXIX. Теорема XXIX. *В системе многих тел A, B, C, D и т. д., если какое-либо тело A притягивает все прочие с ускорительными силами, обратно пропорциональными квадратам расстояний до этого притягивающего тела, если также и второе тело B притягивает все прочие тела A, C, D и т. д. с силами, обратно пропорциональными квадратам расстояний до этого притягивающего тела, то абсолютные*[7] *силы притягивающих тел A и B будут относиться друг к другу как массы соответствующих тел, коим эти силы принадлежат...*

Следствие 1. Таким образом, если каждое из тел системы *A*, *B*, *C*, *D* и т. д. в отдельности притягивает все прочие с ускорительными силами, обратно пропорциональными квадратам расстояний до притягивающего тела, то абсолютные силы всех этих тел будут пропорциональны их массам.

Следствие 2. В силу такого же рассуждения можно заключить, что отдельные тела системы *A*, *B*, *C*, *D*..., рассматриваемые порознь, притягивают все прочие тела с ускорительными силами, которые пропорциональны или прямо или обратно какой угодно степени расстояния до притягивающего тела или следуют вообще какому угодно закону в зависимости только от расстояния до притягивающего тела, то абсолютные силы этих тел пропорциональны их массам...

...**Предложение I. Теорема I.** *Силы, которыми спутники Юпитера постоянно отклоняются от прямолинейного движения и удерживаются на своих орбитах, направлены к центру Юпитера и обратно пропорциональны квадратам расстояний мест до этого центра.*

...**Предложение II. Теорема II.** *Силы, которыми главные*[8] *планеты постоянно отклоняются от прямолинейного движения и удерживаются на своих орбитах, направлены к Солнцу и обратно пропорциональны квадратам расстояний до центра его...*

...**Предложение IV. Теорема IV.** *Луна тяготеет к Земле, и силою тяготения постоянно отклоняется от прямолинейного движения и удерживается на своей орбите.* ...Сила, которой Луна удерживается на своей орбите, если ее опустить до поверхности Земли, становится равной силе тяжести у нас, поэтому ...она и есть та самая сила, которую мы называем тяжестью или тяготением. Ибо, если бы тяжесть была бы отличною от нее силою, то тела, стремясь к Земле под совокупным действием обеих сил, падали бы вдвое скорее, что совершенно противоречит опыту.

Этот расчет основан на предположении, что Земля находится в покое, если же принять, что Земля и Луна движутся вокруг Солнца и вместе с тем обращаются около общего центра тяжести, то при сохранении закона тяготения расстояние центров Луны и Земли будет $60\frac{1}{2}$ полудиаметров Земли...

Поучение. Доказательство этого предложения может быть объяснено подробнее следующим образом. Если бы около Земли обращалось несколько лун, подобно тому, как около Юпитера и Сатурна, то времена их обращений (на основании наведения) следовали бы планетным законам, открытым Кеплером[9], и поэтому их центростремительные силы были бы по теореме 1 обратно пропорциональны квадратам расстояний. Если бы наинизшая из этих лун была малой и почти что касалась бы вершины высочайших гор, то центростремительная сила, которою она удерживалась бы на своей орбите (согласно предыдущему расчету) равнялась бы приблизительно силе тяжести на вершине этих гор; если бы этот спутничек лишить его поступательного движения по орбите, то вследствие отсутствия центростремительной силы, от которой он продолжает отставать на своей орбите, он под действием предыдущей стал бы падать на Землю и притом с такой же скоростью, с какой на вершинах этих гор падают тяжелые тела, ибо в обоих случаях действующие силы равны. Если бы та сила, под действием которой падал бы этот маленький низший спутничек, была отличной от силы тяжести, спутничек же этот, подобно всем телам, тяготел бы к Земле, одинаково с телами, находящимися на вершинах гор, то под совокупным действием обеих сил он падал бы вдвое быстрее. Поэтому, так как обе силы, т. е. действующая на тяжелые тела и действующая на спутничек, на-

правлены к центру Земли и между собой подобны и равны, они те же самые и имеют ту же самую причину... Следовательно, та сила, которою Луна удерживается на своей орбите, есть та же самая, которую мы называем силою тяжести, ибо в противном случае или сказанный спутничек на вершинах гор не имел бы тяжести, или же падал бы вдвое скорее, нежели падают тяжелые тела.

...Предложение V. Теорема V. *Планеты, обращающиеся около Юпитера, тяготеют к Юпитеру, обращающиеся около Сатурна — к Сатурну, обращающиеся около Солнца — к Солнцу, и силою этого тяготения постоянно отклоняются от прямолинейного пути и удерживаются на криволинейных орбитах.*

Ибо обращения спутников вокруг Юпитера и Сатурна, обращения Меркурия и Венеры, и остальных планет около Солнца суть явления того же рода, как и обращения Луны вокруг Земли, поэтому... их происхождение надо приписывать одинакового рода причинам, в особенности после того, как доказано, что силы, под действием которых эти обращения совершаются, направлены к центру Юпитера, Сатурна или Солнца и при удалении от Юпитера, Сатурна и Солнца убывают в том же отношении, и по тому же закону, в каком убывает сила тяжести при удалении от Земли.

Следствие 1. Следовательно, тяготение существует на всех планетах, ибо никто не сомневается, что Венера, Меркурий и прочие планеты суть тела такого же рода, как Юпитер и Сатурн. А так как всякое притяжение, по третьему закону движения, всегда взаимное, то Юпитер тяготеет ко всем своим спутникам, Сатурн — к своим, Земля — к Луне, Солнце — ко всем главным планетам.

Следствие 2. Тяготение, направляющееся к любой из планет, обратно пропорционально квадрату расстояний мест до центра их.

Следствие 3. Все планеты тяготеют друг к другу по след. 1 и 2. Таким образом, Юпитер и Сатурн вблизи соединений, притягиваясь друг к другу, чувствительно возмущают свои движения, Солнце возмущает движение Луны, Солнце и Луна возмущают наши земные моря, как то будет пояснено ниже.

Поучение. До сих пор мы называли ту силу, которой небесные тела удерживаются на своих орбитах, центростремительной, но так как теперь показано, что это есть тяготение, то ниже мы будем ее так называть, ибо причина той центростремительной силы, которой Луна удерживается на своей орбите, по прав. I, II и IV, должна быть распространяема на все прочие планеты.

Предложение VI. Теорема VI. *Все тела тяготеют к каждой отдельной планете и веса тел на всякой планете при одинаковых расстояниях от ее центра пропорциональны массам этих планет.*

Падение всех тяжелых тел на землю с одинаковой высоты (выключив неравное замедление, происходящее от ничтожного сопротивления воздуха) совершается в одинаковое время, как это

уже наблюдено другими, точнейшим же образом это может быть установлено по равенству времен качаний маятников. Я произвел такое испытание для золота, серебра, свинца, стекла, песка, обыкновенной соли, дерева, воды, пшеницы. Я заготовил две круглых деревянных кадочки, равные между собою, одну из них я заполнил деревом, в другой же я поместил такой же точно груз из золота (насколько смог точно) в центре качаний. Кадочки, подвешенные на равных нитях, одиннадцати футов длиною, образовали два маятника, совершенно одинаковых по весу, форме и сопротивлению воздуха; будучи помещены рядом, они при равных качаниях шли взад и вперед вместе в продолжение весьма долгого времени. Следовательно, количество вещества (масса) в золоте... относилось к количеству вещества в дереве, как действие движущей силы на все золото к их действию на все дерево, т. е. как вес одного к весу другого. То же самое было и для прочих тел. Для тел одинакового веса разность количества вещества (масс), даже меньшая одной тысячной доли полной массы, могла бы быть с ясностью обнаружена этими опытами...

Предложение VII. Теорема VII. *Тяготение существует ко всем телам вообще и пропорционально массе каждого из них.*

Выше доказано, что все планеты тяготеют друг к другу, а также, что тяготение к каждой из них в отдельности обратно пропорционально квадратам расстояний места до центра этой планеты. Отсюда следует[10], ...что тяготение ко всем планетам пропорционально количеству материи в них.

Сверх того, так как все части какой-либо планеты *A* тяготеют к какой-либо другой планете *B*, и тяготение каждой части относится к тяготению целого, как масса этой части к массе целого, всякому же действию (по III закону движения) есть равное противодействие, то и обратно, планета *B* притягивается ко всем частям планеты *A*, и притяжение ее к какой-либо части относится к притяжению к целому, как масса этой части к массе целого.

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Исаак Ньютон* (1643—1727) — английский ученый. Родился в семье небогатого фермера в местечке недалеко от Кембриджа. В возрасте 12 лет был определен в городскую школу, затем в один из колледжей Кембриджского университета, по окончании которого в 1665 г. получил степень бакалавра (первая низшая ученая степень в Англии).

В 1664—1667 гг. в Англии свирепствовала чума, которая унесла много человеческих жизней. Ньютон был вынужден покинуть Кембридж и уехать в родные места, где пробыл в общей сложности более года. Этот период, как затем вспоминал сам Ньютон, был особенно плодотворным в его научной деятельности. В своих воспоминаниях Ньютон писал: «В том же году я начал размышлять о действии тяжести, простирающейся до орбиты Луны, и, найдя, как вычислить

силу, с которой тело, обращающееся внутри сферы, давит на поверхность этой сферы, я вывел из законов Кеплера, по которому периоды обращения планет находятся в полуторной пропорции с расстояниями их от центров орбит, что сила, удерживающая планеты в их орбитах, обратно пропорциональна квадратам их расстояний от центров обращений; при этом я сравнивал величину силы, потребной для удержания Луны на ее орбите, с силой тяжести на поверхности Земли и нашел между ними приблизительное равенство. Все это имело место во время чумы 1665—1666 гг.; в это время я пережил лучшую пору своей юности и больше интересовался математикой и философией, чем когда бы то ни было впоследствии».

В 1669 г. учитель Ньютона И. Барроу (1630—1677) передал ему физико-математическую кафедру в Кембриджском университете.

Здесь Ньютон успешно работает над вопросами тяготения, оптики и математики.

Первые исследования Ньютона по физике относились в оптике: открытие дисперсии света, работы по интерференции света и пр. Их содержание Ньютон изложил в двух мемуарах, которые прислал королевскому обществу в 1672—1675 гг. Работы Ньютона по оптике вызвали дискуссию. Особенно активно против Ньютона выступал английский ученый Р. Гук (1635—1703). Большое сочинение Ньютона «Оптика» вышло в свет позже, в 1704 г., после смерти его главного противника — Гука.

В 1672 г. Ньютон был избран членом Лондонского королевского общества, а в 1703 г. стал его президентом.

Обобщив результаты, полученные предшественниками, и свои собственные исследования в области механики, Ньютон создал знаменитый труд «Математические начала натуральной философии», который был издан в 1687 г. В нем Ньютон сформулировал основные понятия и законы классической механики, применил их к теории движения тел.

Круг научных интересов Ньютона был очень широк. Помимо механики и оптики он занимался исследованиями по теплофизике, а также по химии, географии, истории.

В 1695 г. Ньютон переехал в Лондон в связи с назначением его хранителем, а затем и директором Монетного двора, где производилась чеканка денег.

В 1705 г. ему было пожаловано дворянское звание.

В 1727 г. Ньютон скончался и был похоронен в Вестминстерском аббатстве — усыпальнице английской знати. На памятнике Ньютону начертаны слова: «Здесь покоится сэр Исаак Ньютон, дворянин, который почти божественным разумом первый доказал с факелом математики движение планет, пути комет и приливы океанов. Он исследовал различие световых лучей и проявляющиеся при этом различные свойства цветов, чего ранее никто не подозревал... пусть смертные радуются, что существовало такое украшение рода человеческого».

Но еще более восторженно звучат стихи английского поэта Попа, написанные в первой половине XVIII в.: «Природы строй, ее закон в извечной мгле таился, и бог сказал: «Явись, Ньютон!» — и всюду свет разлился».

[2] Ньютон определяет массу через плотность. Такой подход объясняется тем, что во времена Ньютона считали материю самым простым материалом, из которого образованы все тела, и понятие плотности тела означало количество этого материала в единице объема. Поэтому для Ньютона плотность тела могла быть более

простым и первичным понятием, нежели масса, и он определяет массу через плотность, а не наоборот. После Ньютона от такого определения понятия массы постепенно отошли. Нельзя отождествлять понятие материи с характеристикой ее конкретного свойства, в том числе и с массой. В современной физике масса — физическая характеристика материи, являющаяся выражением и мерой одновременно гравитационных свойств материи и ее инертных свойств.

[3] По современной терминологии — импульс тела.

[4] Здесь по существу идет речь о свойстве инертности тел.

[5] Определение понятия силы, которое дал Ньютон, почти полностью соответствует современному. Но в настоящее время обычно говорят не об изменении равномерного и прямолинейного движения, а о получении телом ускорения.

[6] Формулировка Ньютона второго закона отличается от формулировки, которая дается в современном учебнике.

В случае когда масса тела, на которое действует сила, постоянна и скорость движения тела мала по сравнению со скоростью света, смысл этих различных формулировок один и тот же. Однако если тело движется со скоростью, приближающейся к скорости света, а также при движении тел с переменной массой (например, ракета в период сгорания топлива в ней), справедливой будет только формулировка Ньютона.

[7] Подразумевается модуль силы.

[8] Под главными планетами здесь подразумеваются планеты солнечной системы.

[9] В начале XVII в. немецким астрономом И. Кеплером (1571—1630) были эмпирически открыты следующие законы движения планет: 1) каждая планета движется по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце; 2) каждая планета движется в плоскости, проходящей через центр Солнца, причем радиус-вектор планеты описывает площадь, пропорциональную времени; 3) квадраты времени обращения планет вокруг Солнца пропорциональны кубам их средних расстояний от Солнца.

[10] См. теорему на с. 35 и следствия из нее.

II. ТЕПЛОТА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

ЛУКРЕЦИЙ КАР[1]

Еще в Древней Греции зародилась идея, согласно которой все тела состоят из мельчайших частичек. Одним из основоположников этой идеи был греческий философ Демокрит (ок. 460— ок. 370 гг. до н. э.). Мельчайшие частицы вещества Демокрит назвал атомами, что означает неделимые. Затем идею атомного строения вещества развил другой греческий философ — Эпикур (342—270 гг. до н. э.). Сочинения Демокрита и Эпикура не дошли до нашего времени. Известны в основном только небольшие отрывки из них, помещенные в сочинениях других греческих ученых. Это объясняется тем, что учение «атомистов», как называют Демокрита и Эпикура, имело явно безбожный, материалистический характер. В средние века, когда господствовало религиозное мировоззрение, имена Демокрита и Эпикура были преданы анафеме, а их сочинения беспощадно уничтожались. Однако сочинение более позднего римского ученого Лукреция Кара «О природе вещей», в котором были изложены идеи древних атомистов, сохранилось и дошло до нас. В этом сочинении Лукреций Кар делает попытку дать объяснение всем окружающим явлениям, исходя из гипотезы об атомистическом строении вещества. При этом им высказывается ряд блестящих идей (о строении вещества, о хаотическом движении молекул, о законе сохранения вещества, о бесконечности вселенной и т. д.), которые получили дальнейшее развитие в науке.

Ниже приведен отрывок из поэмы Лукреция Кара «О природе вещей».

Из поэмы Лукреция Кара «О природе вещей»

Книга первая

. . . .

Ибо о сущности высшей небес и богов собираюсь
Я рассуждать для тебя и вещей объясняю начала,
Все из которых творит, умножает, питает природа
И на которые все после гибели вновь разлагает.
Их, объясняя их суть, материей мы называем
И для вещей родовыми телами обычно, а также
Их семенами вещей мы зовем и считаем телами
Мы изначальными, ибо началом всего они служат.

. . . .

За основание тут мы берем положенье такое:
Из ничего не творится ничто по божественной воле.
И оттого только страх всех смертных объемлет, что много
Видят явлений они на земле и на небе нередко,
Коих причины никак усмотреть и понять не умеют,
И полагают, что все это божьим веленьем творится.
Если же будем мы знать, что ничто не способно возникнуть
Из ничего, то тогда мы гораздо яснее увидим
Наших заданий предмет: и откуда являются вещи,
И каким образом все происходит без помощи свыше.

. . . .

Надо добавить еще: на тела основные природа
Все разлагает опять и в ничто ничего не приводит.
Ибо, коль вещи во всех частях своих были бы смертны,
То и внезапно из глаз исчезали б они, погибая;
Не было б вовсе нужды и в какой-нибудь силе, могущей
Их по частям разорвать и все связи меж ними расторгнуть.
Но, так как все состоят из вечного семени вещи,
То до тех пор, пока им не встретится внешняя сила,
Или такая, что их изнутри чрез пустоты разрушит,
Гибели полной вещей никогда не допустит природа.

. . . .

Так как теперь доказал я уже, что вещам невозможно
Из ничего возникать и, родившись, в ничто обращаться,
То, чтоб к словам моим ты с недоверием все ж не отнесся
Из-за того, что начала вещей недоступны для глаза,
Выслушай то, что скажу, и ты сам, несомненно, признаешь,
Что существуют тела, которых мы видеть не можем.

. . . .

Но не заполнено все веществом и не держится тесно
Сплоченным с разных сторон: в вещах пустота существует.
Знать это будет тебе полезно по многим причинам
И не допустит тебя заблуждаться в бесплодных исканьях,
Сущность Вселенной познать, не давая словам моим веры.

. . . .

Книга вторая

. . . .

Знай же: материя вся, безусловно, не сплочена тесно,
Ибо все вещи, как мы замечаем, становятся меньше
И как бы тают они в течение долгого века,
И похищает их ветхость из наших очей незаметно;
В целом, однако, стоит нерушимо вещей совокупность...

. . . .

Дабы ты лучше постиг, что тела основные мятутся
В вечном движеньи всегда, припомни, что дна никакого

Нет у Вселенной нигде, и телам изначальным остаться
Негде на месте, раз нет ни конца, ни предела пространству,
Если безмерно оно и простерто во всех направленьях,
Как я подробно уже доказал на основе разумной.

. . . .

Множество, кроме того, в пустоте необъятной витает
Тех, что отброшены прочь от вещей сочетаний и снова
Не были в силах еще сочетаться с другими в движеньи.
Образ того, что сейчас описано мной, и явленье
Это пред нами всегда и на наших глазах происходит.
Вот посмотри: всякий раз, когда солнечный свет проникает
В наши жилища и мрак прорезает своими лучами,
Множество маленьких тел в пустоте, ты увидишь, мелькая,
Мечутся взад и вперед в лучистом сиянии света;
Будто бы в вечной борьбе они бьются в сраженьях и битвах,
В схватки бросаются вдруг по отрядам, не зная покоя,
Или сходясь, или врозь беспрерывно опять разлетаясь,
Можешь из этого ты уяснить себе, как неустанно
Первоначала вещей в пустоте необъятной мятутся.

. . . .

Кроме того, потому обратить тебе надо вниманье
На суматоху в телах, мелькающих в солнечном свете,
Что из нее познаешь ты материи также движенья,
Происходящие в ней потаенно и скрыто от взора.
Ибо увидишь ты там, как много пылинок меняют
Путь свой от скрытых толчков и опять отлетают обратно,
Всюду туда и сюда разбегаясь во всех направленьях.

. . . .

Думают нам вопреки, что без воли богов неспособна,
Приноровляясь ко всем человеческим нуждам, природа
Года менять времена и выращивать хлебные злаки
И остальное творить, чем смертных к себе привлекает
Страсти божественный зов, вождя нашей жизни, и манит
В сладких утехах любви порождать поколенья живущих,
Чтоб не погиб человеческий род, для которого боги
Будто бы создали все. Но они в измышлениях этих,
Кажется мне, далеко уклонились от здравого смысла.
Ибо, коль даже совсем оставались бы мне неизвестны
Первоначала вещей, и тогда по небесным явленьям,
Как и по многим другим, я дерзнул бы считать достоверным,
Что не для нас и отнюдь не божественной волею создан
Весь существующий мир: столь много в нем всяких пороков.

. . . .

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Лукреций Кар* (ок. 99—55 гг. до н. э.) — древнеримский философ, поэт. В поэме «О природе вещей» излагаются мысли самого Лукреция и его предшественников, развивавших атомистическую теорию.

ЛОМОНОСОВ[1]



Михаил Васильевич Ломоносов

В середине XVIII в. на природу теплоты существовало два взгляда. Согласно одному теплота рассматривалась как некая «тонкая невесомая материя», присутствие которой в теле обусловливает его нагретость: чем больше этой «материи» содержится в теле, тем выше его температура. Согласно второй точке зрения причина теплоты состоит в невидимом движении мельчайших частиц — атомов, из которых состоят тела.

Большинство ученых в XVIII в. придерживалось первой точки зрения, и только немногие, наиболее прозорливые, выступали в защиту атомистического учения. Среди них был и великий русский ученый М. В. Ломоносов, который в своих работах заложил основы кинетической теории теплоты и газов.

Ниже приводятся отрывки из двух работ М. В. Ломоносова, опубликованных в 1750 г.

Из работы М. В. Ломоносова «Размышления о причине теплоты и холода»

§ 1

Очень хорошо известно, что теплота* возбуждается движением: от взаимного трения руки согреваются, дерево загорается пламенем; при ударе кремня об огниво появляются искры; железо накаливается от проковывания частыми и сильными ударами, а если их прекратить, то теплота уменьшается и произведенный огонь в конце концов гаснет. Далее, восприняв теплоту, тела или превращаются в нечувствительные частицы[2] и рассеиваются по воздуху, или распадаются в пепел, или в них настолько уменьшается сила сцепления, что они плавятся. Наконец, зарождение тел, жизнь, произрастание, брожение, гниение ускоряются теплотою, замедляются холодом. Из всего этого совершенно очевидно, что *достаточное основание теплоты заключается в движении.* А так как движение не может происходить без материи, то необходимо, чтобы *достаточное основание теплоты заключалось в движении какой-то материи.*

---

* Под каковым именем мы понимаем и более напряженную ее силу, обычно называемую огнем. — Прим. автора.

§ 2

И хотя в горячих телах большей частью на вид не заметно какого-либо движения, таковое все-таки очень часто обнаруживается по производимым действиям. Так, железо, нагретое почти до накаливания, кажется на глаз находящимся в покое; однако одни тела, придвинутые к нему, оно плавит, другие — превращает в пар; т. е., приводя частицы их в движение, оно тем самым показывает, что и в нем имеется движение какой-то материи. Ведь нельзя отрицать существование движения там, где его не видно: кто, в самом деле, будет отрицать, что когда через лес проносится сильный ветер, то листья и сучки деревьев колышатся, хотя при рассматривании издали и не видно движения. Точно так же, как здесь вследствие расстояния, так и в теплых телах вследствие малости частиц движущейся материи движение ускользает от взора; в обоих случаях угол зрения так остр, что нельзя видеть ни самых частиц, расположенных под этим углом, ни движения их. Но мы считаем, что никто — разве что он приверженец скрытых качеств[3] — не будет теплоту, источник стольких изменений, приписывать материи спокойной, лишенной всякого движения, а следовательно, и двигательной силы.

§ 3

Так как тела могут двигаться двояким движением — *общим,* при котором все тело непрерывно меняет свое место при покоящихся друг относительно друга частях, и *внутренним,* которое есть перемена места нечувствительных частиц материи, и так как при самом быстром общем движении часто не наблюдается теплоты, а при отсутствии такового движения наблюдается большая теплота, то очевидно, что *теплота состоит во внутреннем движении материи...*

§ 25

...Тело *A*, действуя на тело *B*, не может придать последнему бо́льшую скорость движения, чем какую имеет само. Поэтому, если тело *B* холодно и погружено в теплое жидкое тело *A*, то тепловое движение частиц тела *A* приведет в тепловое движение частицы тела *B*; но в частицах тела *B* не может быть возбуждено более быстрое движение, чем какое имеется в частицах тела *A*, и поэтому холодное тело *B*, погруженное в тело *A*, очевидно, не может воспринять бо́льшую степень теплоты, чем какую имеет *A*...

§ 26

...Далее, нельзя назвать такую большую скорость движения, чтобы мысленно нельзя было представить себе другую, еще большую. Это по справедливости относится, конечно, и к теплотвор-

ному движению; поэтому невозможна высшая и последняя степень теплоты как движения. Наоборот, то же самое движение может настолько уменьшиться, что тело достигает, наконец, состояния совершенного покоя и никакое дальнейшее уменьшение движения невозможно. Следовательно, по необходимости должна существовать наибольшая и последняя степень холода...

§ 34

На основании всего изложенного выше мы утверждаем, что нельзя приписывать теплоту тел сгущению какой-то тонкой, специально для того предназначенной материи, но что теплота состоит во внутреннем вращательном движении связанной материи нагретого тела. Тем самым мы не только говорим, что такое движение и теплота свойственны и той тончайшей материи эфира[4], которой заполнены все пространства, не содержащие чувствительных тел, но и утверждаем, что материя эфира может сообщать полученное от Солнца теплотворное движение нашей Земле и остальным телам мира и их нагревать, являясь той средой, при помощи которой тела, отдаленные друг от друга, сообщают теплоту без посредничества чего-либо ощутимого...

Из работы М. В. Ломоносова «Опыт теории упругости воздуха»

§ 3

Действительно, мы считаем излишним призывать на помощь для отыскания причины упругости воздуха блуждающую жидкость, подобную тем, какие многими — по обычаю века изобилующего тонкими материями,— применяются обыкновенно для объяснения природных явлений[5]. Мы довольствуемся тонкостью и подвижностью самого воздуха и ищем причину упругости в его собственной материи. Всякий, кто прочитал наши Размышления о причине теплоты[6] и сопоставит с ними последующее, согласится, что мы делаем это не без основания...

§ 13

...Итак, очевидно, что отдельные атомы воздуха в беспорядочном чередовании сталкиваются с ближайшими через нечувствительные промежутки времени, и когда одни находятся в соприкосновении, иные друг от друга отскакивают и наталкиваются на ближайшие к ним, чтобы снова отскочить; таким образом, непрерывно отталкиваемые друг от друга частыми взаимными толчками, они стремятся рассеяться во все стороны.

§ 14

Установив все это, нам остается показать, каким образом атомы воздуха так взаимодействуют между собою, что один атом отталкивает другой. Данные для этого может представить не что иное, как важнейшее свойство того же упругого воздуха. А именно, каждому известно, что при возрастании теплоты воздуха и упругость его все более усиливается, а при уменьшении все более ослабевает. Таким образом, при прочих равных условиях, при наивысшем известном нам жаре наблюдается и наибольшая упругость, а при наименьшем, т. е. при наибольшем испытанном до сего дня холоде, наименьшая, согласно постоянному закону. Отсюда очевидно, что воздушные атомы действуют друг на друга взаимным соприкосновением сильнее или слабее в зависимости от увеличения или уменьшения степени теплоты, так что если было бы возможно, чтобы теплота воздуха вовсе исчезла, то атомы должны были бы вовсе лишиться указанного взаимодействия. А отсюда следует, что *взаимодействие атомов воздуха обусловлено только теплотою...*

§ 25

Звук распространяется посредством колебательного движения атомов. Но ведь, согласно нашей теории, упругость состоит в такого же рода беспорядочном движении; поэтому нас могут спросить, почему не слышен какой-либо непрерывный звук от непрерывных колебаний атомов упругого воздуха. На это ответим, что звук сообщается уху через барабанную перепонку, приведенную в движение силою воздуха; когда она в покое, это не происходит. Но так как барабанная перепонка подвергается с обеих сторон действию одинаковых колебаний воздуха — наружного, и внутреннего, наполняющего огражденную ею полость,— то поэтому, находясь в равновесии, она не колеблется никаким движением и не производит впечатления звука.

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Михаил Васильевич Ломоносов* (1711—1765) — великий русский ученый, общественный деятель, поэт и художник, первый русский академик.

Ломоносов родился в одной из деревень вблизи Холмогор в семидесяти километрах от Архангельска. Отец его был крестьянином-помором, занимавшимся рыбным промыслом. Молодой Ломоносов довольно рано научился читать и писать. Попавшие в руки Ломоносова книги разожгли в нем неутолимое стремление к научным знаниям. Поэтому в 1730 г. девятнадцатилетним юношей отправился он в Москву учиться. В Москве Ломоносову удалось поступить в Московскую духовную академию, где он проучился пять лет. В 1735 г. Ломоносов, как наиболее способный студент, был взят для обучения в Петербургскую академию наук, а затем отправлен за границу, где он завершил свое образование.

В 1742 г. Ломоносов вернулся в Петербург в Академию наук. С 1745 г. он — профессор по кафедре химии. В том же году он был произведен в академики.

Научная деятельность Ломоносова была чрезвычайно многообразна. Он вел научные исследования в области физики, химии, астрономии, геологии, географии. Ломоносов занимался русской историей, писал стихотворения и оды. Он организовал производство мозаичных картин. Его мозаичные картины — портрет Петра I, Полтавская битва — отличаются большим художественным мастерством. Особенно много сил Ломоносов отдал для развития русской науки и распространения знаний среди народа. Ломоносову пришлось бороться с «неприятелями наук российских» — царскими чиновниками, духовенством, иностранными дельцами, занимавшими выгодные места в Петербургской академии. Ломоносову принадлежит основная заслуга в организации первого русского высшего учебного заведения — Московского университета.

Передовые люди России высоко оценивали деятельность первого русского академика. А. С. Пушкин писал: «Соединяя необыкновенную силу воли с необыкновенной силой понятия, Ломоносов обнял все отрасли просвещения. Жажда науки была сильнейшей страстью сей души, исполненной страстей. Историк, ритор, механик, химик, минералог, художник и стихотворец — он все испытал и все проник». Личность Ломоносова волнует и вызывает восхищение и в наши дни. Академик С. И. Вавилов писал: «Наш язык, наша грамматика, поэзия, литература выросли из богатейшего творчества М. В. Ломоносова. Наша Академия наук получила свое бытие и смысл только через М. В. Ломоносова. Когда мы проходим по Моховой, мимо Московского университета (старое здание Университета.— Ред.), мы помним, что деятельность этого рассадника науки и просвещения в России есть развитие мысли М. В. Ломоносова».

[2] «Нечувствительные частицы» — это частицы, из которых состоят вещества, т. е. атомы и молекулы.

[3] В средние века ученые-богословы для объяснения каких-либо явлений природы или свойств тел ограничивались тем, что без каких-либо объяснений приписывали телам соответствующие «качества». Например, действие магнита они объясняли тем, что приписывали ему свойство притягивать железные предметы. Эти свойства или качества считались скрытыми и не подлежащими объяснению. Такой подход был высмеян Мольером. В одной из его комедий действующее лицо говорит: «Опий усыпляет потому, что имеет усыпительную силу».

[4] Эфир — гипотетическая тонкая «материя», которая заполняет все пространство, свободное от атомов.

[5] Не только тепловые, но и многие другие явления — электрические, оптические и т. д. — пытались объяснить в науке того времени наличием «тонких материй» (электрической материи, световой материи и т. д.).

[6] Имеется в виду работа Ломоносова «Размышления о причине теплоты и холода».

КАРНО[1]

В начале XIX в. в технике приобретали все большее и большее значение тепловые двигатели. Паровая машина, изобретенная еще в XVIII в., внедряется в промышленности и на транспорте. В связи с этим одной из важнейших технических проблем первой половины XIX в. становится вопрос об усовершенствовании тепловых машин. Нужно было выяснить, от каких условий зависит их экономичность. Зависит ли она от температуры пара, устройства машины и т. д. Словом, нужно было создать теорию этих машин. Первой работой, относящейся к теории тепловых машин, была работа выдающегося французского ученого и инженера С. Карно, который впервые поставил вопрос о процессе превращения теплоты в работу. И хотя Карно еще считал теплоту особой «материей», он сумел выяснить некоторые законы этого превращения. Свои исследования Карно изложил в сочинении «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу», вышедшем в 1824 г.



Никола Леонард Сади Карно

Как выяснилось после смерти Карно, он впоследствии изменил свои взгляды на природу теплоты и высказал мнение, что теплота — это движение, а также мысль об эквивалентности работы и теплоты, что по существу было выражением закона сохранения энергии.

В приводимых ниже отрывках содержатся наиболее важные положения, развитые в указанной работе Карно.

Из книги С. Карно «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу»

Никто не сомневается, что теплота может быть причиной движения, что она даже обладает большой двигательной силой: паровые машины, ныне столь распространенные, являются этому очевидным доказательством.

...Природа, повсюду предоставляя горючий материал, дала нам возможность всегда и везде получать теплоту и сопровождающую ее движущую силу[2]. Развивать эту силу и приспособлять ее для наших нужд — такова цель тепловых машин.

Изучение этих машин чрезвычайно интересно, так как их значение весьма велико, и их распространение растет с каждым днем. По-видимому, им суждено сделать большой переворот в цивилизованном мире. Тепловая машина уже обслуживает наши

шахты, двигает наши корабли, углубляет гавани и реки, кует железо, обрабатывает дерево, мелет зерно, ткет и прядет наши ткани, переносит самые тяжелые грузы и т. д.

Со временем, должно быть, она станет универсальным двигателем, который получит преимущество над силой животных, падающей воды и потоков воздуха. Перед первыми двигателями она имеет то преимущество, что экономнее их, перед двумя остальными — неоцененное преимущество, что может работать всегда и везде и никогда не прерывать своей работы.

Если когда-нибудь улучшения тепловой машины пойдут настолько далеко, что сделают дешевой ее установку и использование, то она соединит в себе все желательные качества и будет играть в промышленности роль, всю величину которой трудно предвидеть, ибо она не только заменит имеющиеся теперь в употреблении двигатели удобным и мощным двигателем, который можно повсюду перенести и поставить, но и даст тем производствам, к которым будет применена, быстрое развитие и может даже создать новые производства...

Часто поднимали вопрос: ограничена или бесконечна движущая сила тепла*, существует ли определенная граница для возможных улучшений, граница, которую природа вещей мешает перешагнуть каким бы то ни было способом, — или, напротив, возможны безграничные улучшения? Также долгое время искали и ищут теперь, не существует ли агентов, предпочтительных водяному пару, для развития движущей силы огня; не представляет ли, например, атмосферный воздух в этом отношении больших преимуществ. Мы ставим себе задачу подвергнуть здесь эти вопросы внимательному рассмотрению.

Явление получения движения из тепла не было рассмотрено с достаточно общей точки зрения. Его исследовали только в машинах, природа и образ действия которых не позволяли ему принять того полного развития, на которое оно способно. У подобных машин это явление сказывается в извращенном и неполном виде; поэтому трудно узнать его основы и изучить его законы.

Чтобы рассмотреть принцип получения движения из тепла во всей его полноте, надо его изучить независимо от какого-либо механизма, какого-либо определенного агента; надо провести рассуждения, приложимые не только к паровым машинам, но и ко всем мыслимым тепловым машинам... каково бы ни было вещество, пущенное в дело, и каким бы образом на него ни производилось воздействие.

Машины, не получающие движения от тепла, а имеющие двигателем силу человека или животных, падение воды, поток воздуха

---

* Мы употребляем здесь выражение «движущая сила», чтобы обозначить полезное действие, которое может дать двигатель. Это действие всегда возможно свести к поднятию груза на определенную высоту. Оно определяется, как известно, работой по поднятию груза на высоту, на которую груз поднят. — Прим. автора.

и т. д., могут быть изучены до самых мелких деталей посредством теоретической механики. Все случаи предвидены, все возможные движения подведены под общие принципы, прочно установленные и приложимые при всех обстоятельствах. Это — характерное свойство полной теории. Подобная теория, очевидно, отсутствует для тепловых машин. Ее нельзя получить, пока законы физики не будут достаточно расширены и достаточно обобщены, чтобы наперед можно было предвидеть результаты определенного воздействия теплоты на любое тело.

Мы будем в последующем предполагать знание, хотя бы приблизительное, различных частей, составляющих обычную паровую машину. Поэтому мы считаем излишним объяснять, что такое топка, паровой котел, паровой цилиндр, поршень, холодильник и т. д.

Получение движения в паровых машинах всегда сопровождается одним обстоятельством, на которое мы должны обратить внимание. Это обстоятельство есть восстановление равновесия теплорода[3], т. е. переход теплорода от тела, температура которого более или менее высока, к другому, где она ниже...

Возникновение движущей силы обязано в паровых машинах не действительной трате теплорода, *а его переходу от горячего тела к холодному,* т. е. восстановлению его равновесия, — равновесия, которое было нарушено некоторой причиной, будь то химическое действие, как горение, или что-нибудь иное. Мы увидим, что этот принцип приложим ко всем машинам, приводимым в движение теплотой.

...Повсюду, где существует разность температур, повсюду, где возможно восстановление равновесия теплорода, возможно получение движущей силы. Водяной пар есть одно из средств обнаруживать эту силу, но не единственное: все тела природы могут быть применены для этого; все тела способны к изменению объема, к сжатию и расширению при действии тепла и холода; все способны при изменении своего объема побеждать некоторые сопротивления и, таким образом, развивать движущую силу. Твердое тело, например железный стержень, переменно нагреваемый и охлаждаемый, увеличивается и уменьшается в длине и может двигать тела, прикрепленные к его концам. Жидкость, попеременно нагреваемая и охлаждаемая, увеличивается и уменьшается в объеме и может побеждать более или менее значительные препятствия, мешающие ее расширению. Газообразная жидкость способна к большим изменениям объема при изменении температуры: если она находится в сосуде, который может расширяться, например в цилиндре с поршнем, то она произведет значительные движения...

Очевидно само собой, как выше указано, или по крайней мере становится очевидным после размышления о расширении, производимом теплотой, следующее: *повсюду, где имеется разность температур, может происходить возникновениее движущей силы...*

...Необходимое условие максимума (работы. — Ред.) будет: *в телах, употребляемых для развития движущей силы тепла, не должно быть ни одного изменения температуры, происходящего не от изменения объема...*

Этот принцип никогда не следует терять из виду при конструкции тепловых машин; это основное условие.

Всякое изменение температуры, обязанное не изменению объема или химическим действиям (которые мы здесь впредь исключаем), обязательно происходит от непосредственного перехода теплорода от более или менее нагретого тела к телу более холодному. Этот переход имеет, главным образом, место при соприкосновении тел с различной температурой; такие соприкосновения должны быть уменьшены насколько возможно. Конечно, они не могут быть исключены совершенно, но, по крайней мере, следует стремиться к тому, чтобы соприкасающиеся тела мало разнились друг от друга по температуре...

Мы выбрали атмосферный воздух как средство для развития движущей силы тепла; очевидно, рассуждения были бы прежние для всякого другого газообразного вещества и даже для всех других тел, способных менять температуру благодаря сжатию и расширению, что охватывает все тела природы или, по крайней мере, все те, которые способны развивать движущую силу тепла. Таким образом, мы пришли к следующему общему выводу:

Движущая сила тепла не зависит от агентов, взятых для ее развития; ее количество исключительно определяется температурами тел, между которыми, в конечном счете, производится перенос теплорода.

Здесь предполагается, что каждый из методов получения движущей силы достигает полного совершенства, на которое он способен. Это условие, как мы заметили выше, будет выполнено, если в телах не будет происходить ни одного изменения температуры, обусловленного не изменением объема, или, что то же, только иначе выраженное, нигде не будет соприкосновения между телами с заметной разностью температур.

Отрывок из дневника С. Карно

...Тепло — не что иное, как движущая сила или, вернее, движение, изменившее свой вид; это движение частиц тела; повсюду, где происходит уничтожение движущей силы, возникает одновременно теплота в количестве, точно пропорциональном количеству исчезнувшей движущей силы. Обратно: всегда при исчезновении тепла возникает движущая сила. Таким образом, можно высказать общее положение: движущая сила существует в природе в неизменном количестве; она, собственно говоря, никогда не создается, никогда не уничтожается; в действительности она имеет форму, т. е. вызывает то один род движения, то другой, но никогда не исчезает...

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Никола Леонард Сади Карно* (1796—1832) — французский инженер и ученый. С. Карно — сын Л. Н. Карно (1753—1823), ученого, государственного деятеля, участника французской буржуазной революции. В 1814 г. С. Карно окончил Политехническую школу в Париже и затем поступил на службу в инженерные войска. В 1827 г. он был произведен в капитаны и вскоре вышел в отставку. Будучи на военной службе, он много времени уделял научной работе. Карно написал единственный научный труд «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу», изданный в 1824 г. Труд Карно не имел сначала большого распространения, и только к 1834 г. другой французский ученый Клапейрон (1799—1864) обратил на него внимание. После смерти Карно его брат опубликовал записки Карно. В них была высказана мысль об эквивалентности теплоты и работы.

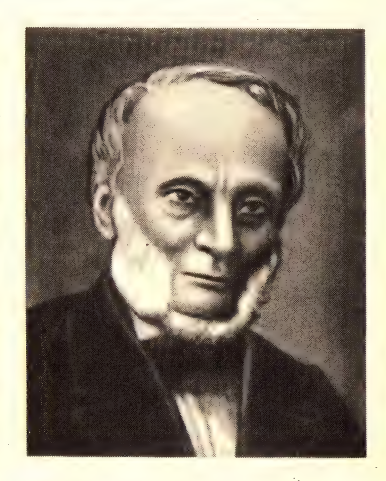
[2] Под «движущей силой» Карно понимал работу.

[3] Здесь переход теплоты от нагретого тела к холодному рассматривается Карно как процесс, аналогичный перетеканию жидкости с более высокого уровня на более низкий.

Как мы говорили выше, Карно придерживался неправильной теории теплоты, полагая, что существует «тепловая материя», присутствие которой в телах вызывает их нагретость.

КЛАУЗИУС[1]

Как мы видели выше, Карно поставил вопрос о превращении теплоты в работу и установил ряд закономерностей этого превращения. Однако при этом он исходил из неправильных взглядов на природу теплоты. После того как был установлен закон сохранения и превращения энергии и было выяснено, что никакого теплорода не существует, ученые стали более подробно исследовать процессы превращения теплоты в работу и работы в теплоту на основе уже правильной теории. Один из первых этим вопросом занялся выдающийся немецкий ученый Р. Клаузиус, явившийся одним из родоначальников термодинамики. Он первым дал формулировку 1-го и 2-го начал (законов) термодинамики.



Рудольф Юлиус Эмануэль Клаузиус

Из книги Р. Клаузиуса «Механическая теория тепла»[2]

Глава I

Первое начало механической теории тепла, или принцип эквивалентности теплоты и работы

...Во всех случаях, когда из теплоты появляется работа, тратится пропорциональное полученной работе количество тепла, и, наоборот, при затрате той же работы получается то же количество тепла.

Когда затрачивается теплота и вместо нее появляется работа, то можно сказать, что теплота превратилась в работу, и, наоборот, когда затрачивается работа и вместо нее появляется теплота, можно сказать, что работа превратилась в теплоту. Пользуясь этим способом выражения, можно предыдущему предложению придать следующий вид:

Возможно превратить работу в теплоту и, наоборот, теплоту в работу, причем обе эти величины всегда пропорциональны друг другу.

Это положение подтверждается рядом известных уже ранее явлений, а также многими и разнообразными опытами, произведенными в новейшее время. Поэтому ...его следует принять как принцип, вытекающий из опыта и наблюдений...

Глава III

Второе начало механической теории тепла

Различные соображения, касающиеся природы и поведения теплоты, привели меня к убеждению, что проявляющееся при теплопроводности и обыкновенном излучении тепла стремление теплоты переходить от более теплых тел к более холодным, выравнивая таким образом существующие разницы температур, связано так тесно с самой ее сущностью, что оно должно иметь силу при всех обстоятельствах. Поэтому я выдвинул в качестве принципа следующее предложение: *теплота не может переходить сама собой от более холодного тела к более теплому.*

Появляющиеся здесь слова «сама собой» требуют, чтобы быть вполне понятными, еще объяснения, которое дано мною в различных местах моих работ. Прежде всего, они должны выражать, что теплота никогда не может накопляться с помощью теплопроводности или излучения в более теплом теле за счет более холодного. При этом все то, что в этом отношении было известно об излучении уже раньше, должно быть распространено также и на те случаи, в которых вследствие преломления или отражения направление лучей как-нибудь изменяется и этим достигается известная концентрация последних. Далее, наш принцип должен относиться

и к таким процессам, которые составлены из многих разнообразных явлений, как, например, круговой процесс... С помощью такого процесса теплота, правда, может ... перейти от более холодного тела к более теплому; но наш принцип утверждает, что тогда одновременно с этим переходом теплоты от более холодного к более теплому телу должен иметь место и противоположный переход теплоты от более теплого к более холодному телу, либо должно произойти какое-нибудь другое изменение, обладающее той особенностью, что оно не может быть обращено без того, чтобы не вызвать со своей стороны, посредственно или непосредственно, такой противоположный переход теплоты. Этот одновременно происходящий противоположный переход теплоты или другое изменение, которое имеет следствием такой противоположный переход теплоты, должны рассматриваться как *компенсация* перехода теплоты от более холодного тела к более теплому. Пользуясь этим понятием, можно слова «сама собой» заменить словами «без компенсации» и высказать вышеприведенный принцип следующим образом:

Переход теплоты от более холодного тела к более теплому не может иметь места без компенсации.

Это предложение, выставленное мною в качестве принципа, встретило много возражений, и мне пришлось его неоднократно защищать, причем мне всегда удавалось доказать, что возражения проистекали от того, что явления, в которых усматривался некомпенсированный переход от более холодного тела к более теплому, неправильно понимались. Однако если бы я остановился здесь на этих возражениях и их опровержении, то это слишком бы нарушило ход наших рассуждений. Поэтому в последующем изложении я это предложение, которое, как мне кажется, признают нынче правильным большинство физиков, буду применять в качестве основного принципа, как я это делал в моих мемуарах; в дальнейшем я предполагаю еще вернуться к спорам относительно этого принципа и рассмотреть их несколько ближе.

Из книги Р. Клаузиуса «Кинетическая теория газов»

§ 4. Объяснение давления газа

Для того чтобы объяснить давление газа, представим себе, что некоторое количество последнего заключено в неподвижном сосуде, и рассмотрим небольшую часть внутренней поверхности стенки сосуда. Об этот элемент поверхности непрерывно ударяются молекулы, направления движения которых образуют угол меньший 90° с нормалью, проведенной наружу к рассматриваемому элементу поверхности. Каждая из этих молекул по истечении очень короткого времени снова оставляет стенку и летит назад во внутреннее пространство сосуда. Если бы молекула вела себя

совершенно аналогично упругому шару, ударяющемуся о твердую стенку, то при оставлении поверхности она обладала бы той же самой скоростью, какую она имела при налете, и направление ее движения составляло бы с нормалью, направленной внутрь сосуда, тот же самый угол, какой направление движения налетающей молекулы составляло с нормалью, направленной вовне сосуда.

Однако в действительности этот процесс не протекает столь правильно. Так как налетающая на стенку молекула состоит из атомов, которые помимо общего движения всей молекулы обладают еще особыми движениями, и так как, дальше, и сама стенка состоит из молекул и атомов, которые вопреки видимому покою стенки все-таки проделывают небольшие движения, то при ударе мы имеем дело не только с простым взаимодействием всей молекулы и неподвижной стенки, но и с особым взаимодействием составных частей, ближайшим образом подвергшихся влиянию удара...

Однако сказанное относится только к отдельным молекулам. В общем же случае, в предположении, что все возможные соответственно данным обстоятельствам движения находятся друг к другу в указанном выше отношении, можно принять, что после отражения молекулы в среднем обладают той же самой живой силой[3], какую они имели в момент налета, и что среди отраженных молекул все направления движений по отношению к стенке представлены совершенно так же, как были представлены направления движения налетевших на стенку молекул. Коль скоро последнее признается твердо установленным, то при определении давления совершенно безразлично, если вместо среднего лишь равенства допустить существование равенства при каждом отдельном ударе, т. е. если допустить, что молекулы отражаются согласно тем же законам, что и упругие шары от неподвижной стенки.

Представим себе теперь, что подобный шар налетает в какомлибо направлении на стенку; тогда мы можем его поступательное движение разложить на две составляющих, из которых одна параллельна к стенке, а другая перпендикулярна к последней. Первая под влиянием удара не изменяется, вторая же, наоборот, превращается в иную, которая равна ей по величине, но противоположна по направлению. Это превращение можно понимать таким образом, что шар под влиянием силы, проявленной по отношению к нему со стороны стенки, приобретает направленное внутрь количество движения, которое в д в о е больше первоначально бывшего у него движения, направленного вовне. Первая половина его служит для того, чтобы уничтожить направленное наружу количество движения, а вторая после удара сохраняется. При этом стенка вследствие реакции получает направленное наружу нормальное количество движения, которое точно так же в д в о е больше того, какое имел вначале шар.

Тот же процесс имеет место при каждом ударе молекулы. Следует, однако, при этом отметить, что действие каждого отдельного удара вследствие малой массы молекул очень незначительно, но зато число ударов, приходящихся в течение единицы времени даже на самый малый элемент поверхности, доступный нашему наблюдению, очень велико. Отсюда для нашего восприятия создается ложное впечатление, будто стенка получает сообщенное ей количество движения не благодаря отдельным толчкам, а под влиянием постоянно действующей силы, направленной изнутри наружу. Эта сила и есть та самая, которую мы называем давлением газа. Она должна быть уничтожена другой противоположно действующей силой; только при этом условии стена под ее влиянием не придет в движение.

Что касается величины давления, то уже путем поверхностного исследования можно до известной степени выяснить, от каких обстоятельств она зависит и каков должен быть характер этой зависимости.

Когда плотность газа увеличивается и в соответствии с этим количество молекул, находящихся в единице объема, возрастает, то благодаря этому и количество ударов тоже должно увеличиться, а именно, при прочих равных условиях число ударов должно возрасти в том же самом отношении, как и число молекул, находящихся в единице объема. Согласно этому давление должно возрасти пропорционально плотности, что соответствует закону Мариотта...

Далее, общая скорость движения молекул изменяется, то вследствие этого по отношению к ударам наступает двоякого рода изменение. Во-первых, вместе со скоростью возрастает и *количество* ударов, а именно, при прочих равных условиях — в том же самом отношении, что и скорость. Во-вторых, возрастает *интенсивность* ударов, причем и это возрастание происходит в том же отношении, что и увеличение скорости. В силу этого давление, возникающее в результате общего действия ударов, должно увеличиваться соответственно *квадрату* скорости. Если допустить, что абсолютная температура представляет собою меру живой силы поступательного движения молекул и, следовательно, что она пропорциональна квадрату скорости, то изложенный выше вывод приводит нас к закону Гей-Люссака...

§ 6. Поведение молекулы в трех агрегатных состояниях

После изложенных соображений о газообразном состоянии сам собою встает вопрос о том, чем отличаются твердое и жидкое состояния от газообразного. Хотя удовлетворительное во всех деталях определение этих состояний потребовало бы гораздо более полного знания отдельных молекул, чем это мы имеем до сих пор, тем не менее я полагаю, что некоторые основные различия могут быть указаны с довольно большой вероятностью.

Движение молекул имеет место при всех трех состояниях.

При *твердом* состоянии движение происходит таким образом, что молекулы движутся около известных положений равновесия, не оставляя последних окончательно до тех пор, пока на них не воздействуют посторонние силы. Таким образом, у твердых тел это движение можно было бы охарактеризовать как колебательное. В действительности же оно может иметь гораздо более сложный вид. Во-первых, могут колебаться составные части молекулы друг по отношению к другу и, во-вторых, могут колебаться целые молекулы как таковые, причем эти последние колебания могут в свою очередь состоять в прямолинейных качаниях центра тяжести и во вращательных колебаниях около центра тяжести. В тех случаях, когда на тело действуют внешние силы, например, при сотрясениях, молекулы могут и навсегда перейти в другие положения.

В *жидком* состоянии молекулы уже не имеют постоянного положения равновесия. Они могут совершенно повернуться около своего центра тяжести, а в последний момент совершенно сместиться со своего положения. Однако разъединяющее действие движения не настолько велико по сравнению со взаимным притяжением молекул, чтобы совершенно отделить их друг от друга. Правда, молекула уже более не пристает к определенным соседним молекулам, но она и не покидает их сама, а лишь при содействии сил, которые она испытывает со стороны других молекул, по отношению к которым она затем попадает в такое же самое положение, как к своим прежним соседним молекулам. Итак, в жидкости имеет место колебательное, вращательное и поступательное движение...

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Рудольф Юлиус Эмануэль Клаузиус* (1822—1888) — немецкий физик. После окончания университета в Берлине (1848 г.) работал преподавателем в Артиллерийской школе. В 1855 г. Клаузиус стал профессором физики сначала в Политехнической школе, а затем в Цюрихском университете. Позднее он работал в Вюрцбургском и (с 1869 г.) Боннском университетах.

Клаузиус является одним из основателей термодинамики и кинетической теории газов. Он сформулировал первый и второй законы термодинамики. Настоящие выдержки по термодинамике даны из первого тома его обобщающей работы «Механическая теория тепла» (1876 г.).

[2] Под механической теорией тепла Клаузиус понимал термодинамику и молекулярную физику.

[3] «Живая сила» — это в современном понимании *энергия.*

БОЛЬЦМАН[1]

После установления второго закона термодинамики перед физиками встала трудная проблема — объяснить эту закономерность на основе молекулярных представлений о строении вещества. Целый ряд физиков пытались решить ее, применяя законы механики к движению огромного числа молекул, образующих макроскопическое тело. Однако этот подход к решению данной задачи не дал положительных результатов. Впервые знаменитый австрийский физик Больцман понял, что эта проблема может быть решена лишь путем применения теории вероятности к молекулярному движению, и установил, что второй закон термодинамики имеет статистический характер.



Людвиг Больцман

Из доклада Л. Больцмана «Второй закон механической теории тепла»[2]

Теплоту, видимую живую силу[3] и работу можно было бы по желанию получать друг из друга и переводить из одной формы в другую, причем количество всегда было бы сохранено.

Наряду с этим общим принципом механическая теория тепла поставила... так называемый второй закон механической теории тепла. Это положение формулируется следующим образом: работа и видимая живая сила могут безусловно переходить одна в другую и без всяких ограничений превращаться в теплоту; наоборот, обратное превращение теплоты в работу или видимую живую силу или совсем невозможно или возможно только отчасти...

Моим единственным намерением является лишь немного ближе осветить второй закон термодинамики с другой точки зрения. Чрезвычайно вероятно, что тепловые движения молекул носят такой характер, что не всегда большая группа соседних молекул имеет одно и то же состояние движения, но что каждая молекула идет своим собственным путем, несмотря на непрерывное взаимное влияние, т. е. что каждая молекула существует некоторым образом как самостоятельно действующий индивидуум. Можно было бы думать, что эта самостоятельность отдельных частей тела тотчас проявилась бы во внешних особенностях тел, что, например, в горизонтальном металлическом стержне то правый, то левый конец сам собою становился бы теплее

в зависимости от того, в каком месте молекулы совершали бы более оживленные колебания; что в газе, если бы движения многих молекул как раз были направлены к одному определенному пункту, в последнем внезапно должна бы повыситься плотность. Ничего такого мы не замечаем и никогда не заметим...

Как известно, Бокль[4] показал статистически, что если мы примем во внимание достаточное количество людей, то не только число случаев, обусловленных природой, как-то: число смертей, больных и т. д., но также и относительное число так называемых добровольных поступков, число браков в известном возрасте, преступлений, самоубийств остается совершенно постоянным, пока не изменяются существенно внешние обстоятельства. И в области молекулярных явлений дело происходит подобным же образом. Давление газа на поршень происходит от того, что то одна, то другая молекула то более сильно, то более слабо, то прямо, то косо налетает на поршень; но вследствие большого количества ударяющихся молекул остается постоянным не только полное давление, но даже на каждый, сколько угодно малый наблюдаемый участок поршня выпадает одинаковая средняя интенсивность толчков. Если мы замечаем, что в каком-либо месте давление повысилось, мы сейчас же будем искать внешнюю причину, заставляющую молекулы притекать предпочтительно к этому месту.

...Представим себе, что к некоторому количеству белых шаров прибавлено некоторое количество черных, в других отношениях похожих совершенно на белые шары. Сначала пусть в одном месте имеются только белые, а в другом — только черные шары. Если мы будем их смешивать рукой или подвергнем их какому-либо другому влиянию, постоянно меняющему их относительное положение, то по прошествии некоторого времени мы найдем их перемешанными самым пестрым образом. То же самое происходит, когда мы имеем тело более теплое, чем окружающая его среда. Мы имеем большую группу более быстро движущихся молекул внутри групп, движущихся более медленно. Если мы более теплое тело приведем в непосредственное соприкосновение с более холодной окружающей средой, то устанавливается соответствующее законам теории вероятностей распределение скоростей. Температура выравнивается...

В отдельном газе не все молекулы обладают точно одинаковой скоростью, но некоторые из них обладают скоростью гораздо большей, а некоторые — гораздо меньшей, чем средняя, и Максвелл первый указал, что различные скорости распределены точно так же, как ошибки наблюдения, постоянно вкрадывающиеся, когда мы одну и ту же величину определяем посредством измерения при одних и тех же обстоятельствах. Мы не можем, конечно, видеть в согласованности этих обоих законов простую случайность, ибо они оба определены на основании одних и тех же правил теории вероятностей.

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Людвиг Больцман* (1844—1906) — австрийский физик. После окончания гимназии Больцман поступил в Венский университет. Уже в 1866 г. он в возрасте 22 лет получил докторскую степень и занял должность приват-доцента в Венском университете. С 1869 г. Больцман — профессор в университетах Граца, Вены, Мюнхена, Лейпцига. Последние годы он провел в Вене.

Большинство работ Больцмана относятся к теоретическим исследованиям в области молекулярной физики. Главной его заслугой явилось статистическое истолкование второго закона термодинамики. Эти работы Больцмана не были оценены при его жизни и только после его смерти они получили признание. Больцману принадлежит также ряд работ по механике, электродинамике и другим разделам теоретической физики. По своим взглядам он был убежденным материалистом и резким идейным противником Маха и Оствальда, пытавшимся на основе искаженного представления достижений науки обосновать идеалистические философские учения.

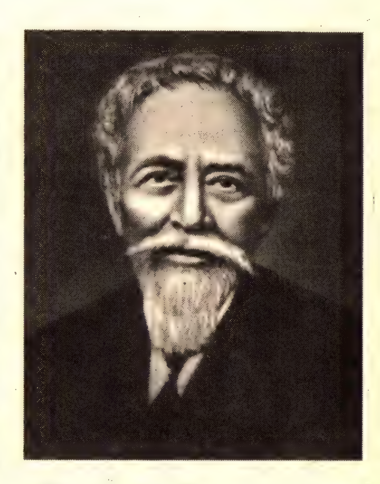
[2] Доклад «Второй закон механической теории тела» был прочитан Больцманом в 1886 г. на торжественном заседании Венской академии наук.

[3] Под «видимой живой силой» Больцман понимал кинетическую энергию макроскопических тел в отличие от «живой силы» (кинетической энергии) молекул.

[4] *Г. Бокль* (1821—1862) — английский историк и социолог.

ПЕРРЕН[1]

Статистическое толкование второго закона термодинамики, разработанное Больцманом, долгое время не разделялось физиками. Большинство из них не могли согласиться с тем, что в основе фундаментального закона природы лежит просто случай. Отношение ученых к статистическому объяснению Больцманом второго закона термодинамики изменилось тогда, когда его идеи были подтверждены экспериментально. Это были эксперименты с броуновским движением. Одним из первых занялся изучением броуновского движения французский физик Ж. Перрен. Данные его экспериментальных работ подтвердили теорию Больцмана. Перрен опубликовал свои работы в различных журналах, а затем в обобщающем труде — книге «Атомы» (1913 г.).



Жан Батист Перрен

Из книги Ж. Перрена «Атомы»

Броуновское движение. Движение молекул ускользает от нашего непосредственного восприятия, как легкая зыбь на поверхности моря для наблюдателя, находящегося на очень далеком расстоянии. Однако, если в поле зрения того же наблюдателя видна лодка, то наблюдатель заметит, что она покачивается; это дает ему указание на то, что на море есть легкое волнение, которого он и не подозревал. Нельзя ли надеяться, что какие-нибудь маленькие частички внутри жидкости, доступные наблюдению в микроскоп, будут настолько малы, что мы подметим их движение, приобретаемое вследствии подталкивания их ударами молекул?

Эти соображения привели к открытию замечательного явления, наблюдаемого под микроскопом, которое позволило нам очень глубоко заглянуть в свойства жидкого состояния.

Наблюдая жидкость как обычно, мы видим, что все части жидкости находятся в состоянии равновесия. Если в жидкость поместить предмет, имеющий бо́льшую плотность, чем она, то этот предмет в ней тонет; если предмет шарообразен, то он в жидкости опускается строго вертикально, и мы знаем, что, опустившись на дно сосуда, он там и лежит, не обнаруживая никакого стремления подняться сам собой.

К этим представлениям мы вполне привыкли, и, тем не менее, они правильны до тех пор, пока мы встречаемся с размерами, к которым наши органы также привыкли. Но довольно взглянуть в микроскоп на маленькие частички, «взвешенные» в воде, и окажется, что они вовсе не падают вертикально, а движутся весьма оживленно и совершенно беспорядочно. Такая частичка идет то туда, то сюда, вертится, поднимается кверху, опускается, снова идет кверху, нисколько не стремясь к покою. Это и есть *броуновское движение,* называемое так в честь английского ботаника Броуна, который первый подметил такое движение в 1827 г. ...

...Особенно странная и непривычная черта явления — броуновское движение никогда не останавливается. Внутри закрытой со всех сторон кюветы (во избежание испарения) его можно наблюдать днями, месяцами, годами. Оно обнаруживается в жидких включениях, встречающихся в кварце, которым тысячи лет. Оно вечно и самопроизвольно...

Здесь мы сталкиваемся с существенным свойством того, что называют средой в состоянии равновесия: кажущийся покой есть только иллюзия, зависящая от несовершенства наших чувств, а на самом деле существует определенный установившийся режим быстрых и беспорядочных движений.

Вот к какому заключению приводит нас молекулярная гипотеза, и как будто бы именно броуновское движение дает ей то окончательное подтверждение, которого мы ожидали. Всякая частичка материи, помещенная в жидкость, получает толчки от ее

молекул, непрерывно ударяющихся о частичку; эти толчки, вообще говоря, взаимно не уравновешиваются вполне, поэтому частичка и должна неправильно двигаться то туда, то сюда.

...Но нельзя ли... предположить, что нет никакого предела приложимости этих законов в отношении величины того комплекса атомов, который мы исследуем?

Нельзя ли предположить, что частицы, уже доступные зрению, все еще следуют этим законам; так что частичка, находящаяся в броуновском движении, может быть предметом таких же расчетов, как и молекула газа, например, в отношении действия ударов на стенку, останавливающую ее? Одним словом, нельзя ли приложить газовые законы к эмульсиям, состоящим из видимых уже зернышек?

В этом направлении я искал какого-нибудь решающего опыта ..., который мог бы дать прочную экспериментальную базу либо для нападок на кинетическую теорию, либо для ее защиты до конца. Вот один из опытов.

Способ наблюдения эмульсии. При изучении эмульсии оказывается нужным делать измерения в пределах высоты не нескольких сантиметров и даже не нескольких миллиметров, а мерить слои высотой в несколько десятых миллиметра. Я изучал таким образом эмульсию под микроскопом. Капелька эмульсии помещается в плоскую кюветку (кюветка Цейса глубиной 0,1 мм); при опыте она накрывается покровным стеклышком, края которого покрыты парафином, что позволяет заклеить кюветку и тем избежать испарения. Тогда возможны два расположения опыта (рис. 1)*.

Препарат может быть помещен вертикально, а микроскоп горизонтально; тогда сразу видно распределение эмульсии по высоте. Таким способом я наблюдал эмульсию много раз, но измерений не делал. Рисунок 2** представляет фотографию, сделанную в моей лаборатории... при таком расположении...[2]

Препарат может быть расположен и горизонтально, а микроскоп вертикально. Объектив, употребляющийся в этом случае, должен быть большого увеличения, с малой глубиной поля зрения, и тогда в данный момент можно наблюдать зернышки в очень тонком слое, толщина которого — порядка м и к р о н а (1 мкм.— Р е д.). Если микроскоп поднимается или опускается, то видны зернышки уже другого слоя.

Рис. 1

* Ввиду выборочного характера помещенных в данной книге текстов из работ ученых авторская нумерация рисунков не сохранена. (Р е д.)

** Здесь приведен рисунок с фотографии, сделанной в лаборатории Перрена. (Р е д.)

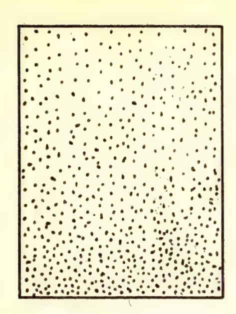


Рис. 2

Так или иначе, всегда можно констатировать, что распределение зерен, сначала как будто однородное (что происходит вследствие встряхивания препарата при его установке), перестает быть таковым, что нижние слои делаются все богаче и богаче зернышками, но это обогащение постепенно замедляется, и, наконец, устанавливается стационарный режим, при котором концентрация убывает с высотой. Рисунок 3 составлен из пяти отдельных снимков, снятых на равноотстоящих уровнях эмульсии и сложенных затем соответственным образом. Аналогия рисунков 2 и 3 с рисунком 4, показывающим распределение молекул газа, очевидна...

. . . .

Закон убывания концентрации. Я исследовал, является ли это распределение зернышек таковым, как в нашей атмосфере, находящейся под действием силы тяжести, т. е. сопровождается ли поднятие на одну и ту же высоту одним и тем же разрежением, иначе, убывают ли концентрации в геометрической прогрессии.

Я проделал очень тщательно целую серию наблюдений с зернышками гуммигута, имевшими радиус 0,212 микрона... Отсчеты делались в кюветке, глубиной 100 мк, в четырех горизонтальных плоскостях, равно отстоящих

Рис. 3

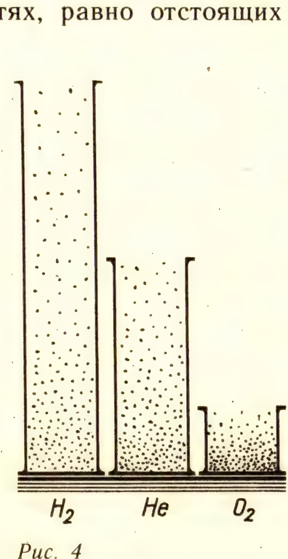


Рис. 4

друг от друга и пересекающих кюветку на уровнях:

5 мк, 35 мк, 65 мк, 95 мк.

Такие отсчеты, произведенные на указанных уровнях, позволили пересчитать в общей сложности 13 000 зернышек; концентрация их оказалась пропорциональной числам:

100, 47, 22, 6, 12,

приблизительно равных числам:

100, 48, 23, 11, 1,

которые составляют геометрическую прогрессию. ...

Можно было бы привести наблюдение и над другими сериями. Во всех случаях закон разрежения оправдывается со всей строгостью. Но даст ли он нам для молекулярных размеров те числа, которых мы ожидаем?

...Решающий опыт. Представим себе, например, зернышки такого рода, что достаточно было бы повышения на 6 мк, чтобы концентрация сделалась вдвое слабее. Для того чтобы добиться такого же разрежения в воздухе, как мы видели, нужно было бы подняться кверху на 6 км, т. е. на расстояние в миллиард раз больше[3]. Если наша теория верна, то вес молекулы воздуха должен быть в миллиард раз меньше веса одного из наших зернышек в воде. Вес атома водорода можно было бы получить таким же путем, и весь интерес вопроса заключается в том, чтобы узнать, получим ли мы те числа, к которым приводит кинетическая теория.

Разумеется, я испытал сильное волнение, когда после первых попыток я получил те же числа, к которым кинетическая теория приходит совершенно другим путем. Я менял, однако, весьма разнообразно условия опыта. Например, объемы моих зернышек имели значения, менявшиеся в отношении друг к другу в пределах от 1 до 50. Я менял также и вещество зернышек...

Несмотря на такое изменение условий опыта, значение, находимое для N — числа Авогадро, оказывалось почти постоянным, неправильно колебавшимся между $65 \cdot 10^{22}$ и $72 \cdot 10^{22}$. Если бы даже мы не имели никаких других сведений о молекулярных размерах, уже одно это постоянство подтвердило бы справедливость той наглядной гипотезы, которой мы руководились, а отсюда несомненно получают правдоподобие те значения, какие мы даем массе молекул и атомов. ...

Становится весьма трудным отрицать объективную реальность молекул. В то же время нам стало видимым и движение молекул. Броуновское движение есть его точное воспроизведение, или, еще точнее, это настоящее молекулярное движение... При рассматривании этого движения нет никакой принципиальной разницы между молекулами азота, который может быть растворен в воде,

и теми видимыми молекулами, которые существуют в виде зерен эмульсии...

Итак, мы можем думать, что эмульсия есть в миниатюре атмосфера, тяготеющая к земле; в этой атмосфере из колоссальных молекул разрежение идет весьма быстро, но доступно измерению. С этой точки зрения высота Альп представилась бы несколькими микронами, но отдельные молекулы имели бы размеры холмов.

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Жан Батист Перрен* (1870—1942) — французский физик. После окончания Высшей нормальной школы в Париже Перрѐн сначала работал в этой же школе, а затем — в Парижском университете. С 1910 г. он — профессор. В 1940 г. после окупации Франции войсками фашистской Германии он уехал в США.

Перрену принадлежат работы, относящиеся к различным областям физики, и, в частности, работы по изучению броуновского движения.

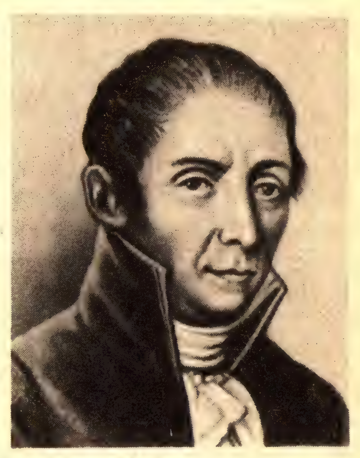
Перрен был почетным членом Академии наук СССР (с 1929 г.), Нобелевским лауреатом (1926 г.).

[2] На рисунке 2 изображены три вертикальных сосуда больших размеров, в которых находится одинаковое число молекул: в одном — водород, во втором — гелий, в третьем — кислород. Характер распределения молекул по высоте для всех газов одинаков: ко дну сосудов газ заметно уплотняется.

[3] Перреном был сделан вывод, что давление воздуха при комнатной температуре уменьшается вдвое с увеличением высоты на 6 км.

ВОЛЬТА[1]

Основные законы электростатики и магнитостатики, т. е. законы равновесия электрических зарядов и магнитов, были установлены в XVIII в. В XIX в. стала развиваться та область учения об электромагнитных явлениях, которая в физике (в работах Ампера) получила название электродинамики.



Алессандро Вольта

Начало исследований по электродинамике было положено изобретением знаменитым итальянским физиком А. Вольта первого источника постоянного тока — гальванического элемента. Этому предшествовало открытие итальянским ученым Гальвани (1737—1798) явления сокращения мышц лапки препарированной лягушки при ее контакте с металлическими проводниками. Вольта не только повторил опыты Гальвани, но также провел ряд новых экспериментов, которые ему позволили сделать вывод, что электричество, действие которого проявляется в открытых Гальвани явлениях, имеет не физиологическое (как считал Гальвани), а физическое происхождение. Стремясь усилить электрические действия, обусловленные контактом двух разных проводников, Вольта изобрел гальваническую батарею — так называемый «вольтов столб». О своем открытии ученый сообщил, в частности, в письме от 20 марта 1800 г., адресованному президенту Лондонского королевского общества, английскому естествоиспытателю Дж. Бэнксу (1743—1820).

Из письма А. Вольта к Дж. Бэнксу «Об электричестве, возбуждаемом простым соприкосновением различных проводящих веществ»

После долгого молчания, в чем я не стану оправдываться, я хочу сообщить Вам, а через Вас Королевскому обществу, о некоторых поразительных результатах, к коим я пришел во время

моих опытов с электричеством, возбуждаемым простым взаимным соприкосновением двух разных металлов, и даже иных проводников также различной природы, жидких или содержащих некоторую влагу, которой они как раз и обязаны своей проводимостью.

Самым основным и включающим почти все остальные результаты является постройка прибора, сходного по эффектам, т. е. по сотрясению, вызываемому в руках, и т. д., с лейденскими банками[2] или с такими электрически слабо заряженными, но беспрерывно действующими батареями[3], где бы заряд после каждого взрыва восстанавливался сам собой; одним словом, этот прибор обладает бесконечным зарядом, постоянным импульсом или действием электрического флюида[4]. Но он в то же время значительно отличается от них... Действительно, мой прибор, который несомненно удивит Вас, представляет собой собрание некоторого количества хороших проводников разного рода, расположенных в известном порядке. Его образуют 30, 40, 60 и более кусков меди (или лучше серебра), наложенных каждый на кусок свинца (или лучше цинка), и такого же количества слоев воды или другого лучшего жидкого проводника, как, например, соленая вода, щелок и т. д., или кусков картона, кожи и тому подобное, пропитанных этими жидкостями...

Я опишу подробней этот и аналогичные приборы, а также самые замечательные из относящихся сюда опытов.

Я заготовил несколько дюжин небольших круглых пластинок или дисков из меди, латуни или лучше всего серебра, с диаметром примерно в 1 дюйм[5], и такое же количество оловянных пластинок (или еще лучше цинковых) примерно той же формы и величины. Я говорю примерно, потому что точность здесь не имеет значения и вообще величина и форма металлических частей произвольна. Самое важное, чтобы их можно было удобно поместить одну над другой в виде столба. Кроме того, я приготовил большое число кружков из картона, кожи и другого губчатого материала, впитывающего и задерживающего много воды или другой жидкости, которою они должны быть сильно смочены для успешного опыта. Эти кружки, которые я буду называть мокрыми дисками, делаются несколько меньше, чем металлические, чтобы, находясь между последними, они не выходили за их края.

Когда все это у меня находится под рукой и в надлежащем порядке, т. е. металлические диски в сухом и чистом виде, а неметаллические — хорошо пропитаны простой водой (или, еще лучше,— соленой) и слегка отжаты, чтобы жидкость не стекала, я их складываю в должной последовательности.

Я кладу на стол или на какую-нибудь опору одну из металлических пластинок, например серебряную, а на нее цинковую и затем мокрый диск и т. д. в том же порядке. Всегда цинк должен следовать за серебром, или наоборот, в зависимости от расположения их в первой паре, и каждая пара перекладывается

мокрым диском. Таким образом, я складываю из этих этажей столб такой высоты, который может держаться, не обрушиваясь.

Если он содержит около 20 подобных этажей, то он не только показывает на электрометре Кавалло[6], снабженном конденсатором, свыше 10 или 15°, не только заряжает этот конденсатор простым прикосновением, так что получается искра и т. п., но и ударяет в пальцы, если касаться ими его двух концов (верхушки и основания столба), двумя или несколькими слабыми и более или менее частыми толчками в зависимости от частоты этого соприкосновения. Эти удары вполне сходны с легким сотрясением, испытываемым при касании к лейденской банке, слабо заряженной, или к ослабевшему скату, который больше походит на мой прибор своими без конца повторяющимися ударами.

...Чтобы результаты были еще надежней и сотрясения сильнее, необходимо соединить основание столба, т. е. диск дна, при помощи достаточно широкой пластинки или толстой металлической проволоки с водой довольно большого таза или чашки, куда опускают один, два, три пальца или всю руку, касаясь одновременно верхнего края (последнего или одного из последних дисков столба) концом металлической же пластинки, находящейся в другой сильно смоченной руке...

Возвращаясь к описанию механической конструкции моего прибора, имеющего ряд вариантов, я опишу здесь не все те, которые я придумал и выполнил или в большом или в малом масштабе, но лишь некоторые из них самые любопытные или полезные, обладающие каким-либо действительным преимуществом, как, например, более легким или быстрым выполнением, более надежной работой и лучшей сохранностью.

Начнем с одного из них, объединяющего, может быть, все эти преимущества и в то же время отличающегося внешним видом от прибора со столбом, описанного выше. Недостаток его состоит в том, что он слишком объемист. Изображение этого прибора... дается на рисунке 1.

Несколько стаканов из любого материала, кроме металлов, например из дерева, глины, черепахи и еще лучше хрусталя (особенно удобны маленькие кубки или стаканчики), наполняются наполовину чистой или соленой водой или щелоком. Они сообщаются друг с другом, так что образуется род цепи, с помощью металлических дуг, у которых одно плечо (или только конец *A*, погруженный в стаканчик) сделано из красной или желтой меди или



Рис. 1

лучше из посеребренной меди, а другое (конец Z, опущенный в следующий стаканчик) из олова или лучше из цинка. Замечу, что щелок и другие щелочные жидкости следует предпочесть, когда один из погружаемых металлов олово. Лучше применять соленую воду при цинке. Оба металла дуги спаяны в любом месте выше погруженной в жидкость части; последняя должна обладать довольно большой поверхностью. Поэтому она должна иметь вид пластинки в 1 кв. дюйм или около этого, остальная часть дуги может быть совсем тонкой, даже состоять из простой металлической проволоки. Она может быть совсем из другого металла, чем части, погруженные в жидкость стаканчиков, ибо действие электрического флюида всех контактов нескольких чередующихся металлов (сила, с какою ток проталкивается до конца) почти или совсем равна получаемой при непосредственном контакте первого металла с последним без посредствующего контакта, как я удостоверился на опытах, о чем я еще буду говорить.

Таким образом, ряд из 30, 40, 60 таких стаканчиков, связанных, как указано, друг с другом и расставленных или по прямой линии, или по кривой, или по изогнутой любым образом, образует новый прибор. Он по существу и по материалу есть тот же столб, что описан выше. Основное здесь в непосредственном сообщении между различными материалами, составляющими пару, и посредственном между одной парой и другой при посредстве влажного проводника, что имеет место как в первом, так и во втором приборе.

...Легко понять, что для получения сотрясения достаточно опустить руку в один из этих стаканчиков, а палец другой руки в другой, достаточно удаленный от первого. Сотрясение будет тем сильнее, чем больше удалены друг от друга эти два стаканчика, т. е. чем больше их будет между руками...

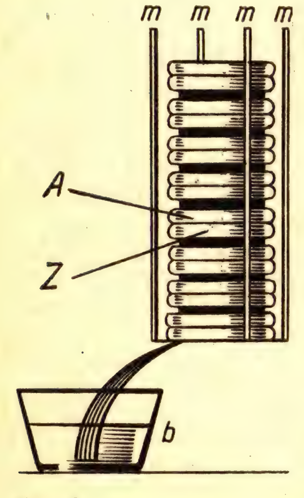


Рис. 2

Что касается прибора со столбом, то я искал способа удлинить его путем увеличения числа металлических дисков с устранением опасности обрушивания, сделать его удобным и портативным и в особенности долговечным...

На рисунке 2 изображены пруты, от 3 и более, которые подымаются от основания столба и окружают, как клеткой, диски, положенные один на другой в любом количестве и на любую высоту, и не позволяют им падать. Пруты могут быть из стекла, дерева или металла. В последнем случае они не должны непосредственно касаться дисков, что можно сделать, надев на каждый прут стеклянную трубку или проложив между ними и столбом

полоски клеенки, промасленной и даже простой бумаги или любого материала, но только или изолятора, или плохого проводника. В нашем случае вполне удовлетворяют дерево и бумага, лишь бы они не были слишком сырыми или мокрыми.

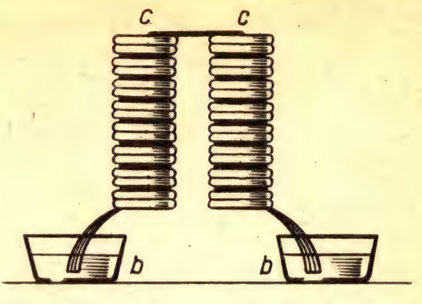


Рис. 3

Лучше всего при постройке прибора с очень большим числом дисков, например свыше 60, 80 и 100, разделить столб на два или более, как указано на рисунке 3, где отдельные части расположены соответственно тому, как они располагались бы в одном столбе...

Во всех этих фигурах различные металлические пластинки обозначены через *A* и *Z* (начальные буквы Argentum и Zincum), а мокрые диски из картона, кожи и т. п., проложенные между парами этих металлов, окрашены в черный цвет. Сплошные линии указывают место соединения одного металла с другим в каждой паре, их взаимный контакт в нескольких точках, число которых не имеет значения, или спайку, очень удобную со многих точек зрения, *c* —*c* обозначает металлические пластинки, через которые сообщаются между собою столбы или их отрезки; *b* — *b* — чашки с водою, сообщающиеся с основаниями или оконечностями столбов.

Таким образом смонтированный прибор наиболее удобен, не слишком объемист и его можно было сделать еще более портативным с помощью каких-либо футляров или трубок, куда заключался бы каждый столб для хранения. К сожалению, прибор долго не может оставаться в хорошем состоянии: мокрые диски высыхают через день-два и требуют нового смачивания. Это делается без разбора столбов, достаточно их погрузить целиком в воду, немного подержать в ней и, вытащив, вытереть снаружи как можно лучше тряпкой.

Для возможного увеличения срока службы этих столбов следовало бы удерживать воду, включенную между каждой парой металлических пластинок. и укрепить их на месте, покрыв воском или смолою весь столб. Но выполнение этого довольно затруднительно и требует большого терпения. Мне удалось сделать два таких цилиндра из 20 металлических пар, они мне служат хорошо уже несколько недель, и, надо думать, послужат еще несколько месяцев...

[1] *Алессандро Вольта* (1745—1827) — итальянский ученый. Вольта родился в небольшом городе Комо, расположенном недалеко от Милана. Его родители происходили из семей знатных дворянских фамилий. Вольта учился в школе г. Комо, находившейся в ведении ордена иезуитов. Рано в нем пробудился интерес к естественным наукам. Первые научные публикации Вольта посвящены «лейденской банке» и электрической машине. В 1774 г. Вольта стал работать преподавателем физики в гимназии г. Комо. В 1779 г. он получил должность профессора физики в университете Павии. Здесь им были проведены опыты по изучению гальванизма (1792—1794). Отметим, что согласно представлениям Вольта разность потенциалов между электродами гальванического элемента возникает за счет соединения двух различных металлов, из которых изготовлены электроды. Роль химических процессов, протекающих между пластинами (электродами) и электролитом, была выяснена несколькими десятилетиями позже.

Создание первого гальванического элемента (1800) было очень важным событием в развитии физики. Французский ученый Араго (1786—1853) писал, что вольтов столб был «самым замечательным прибором, когда-либо изобретенным людьми, не исключая телескопа и паровой машины». В историю физики вошли также созданные Вольтом смоляной электрофор, чувствительный электроскоп с соломинками и другие приборы. Вольтом было установлено физиологическое действие электрического тока на органы зрения и вкуса человека. В 1776 г. Вольта открыл и исследовал метан.

В честь Вольта названа единица электрического напряжения — в о л ь т.

[2] «Лейденская банка» — так назывался первый электрический конденсатор.

[3] Имеется в виду батарея конденсаторов.

[4] Флюид — тончайшая гипотетическая жидкость, наличием и движением которой в телах объясняли электрические явления.

[5] 1 дюйм = 25,4 мм.

[6] *Кавалло Т.* (1749—1809) — итальянский физик, живший в Лондоне. Усовершенствовал первый электрометр: подвеску с пробковыми шариками он поместил в стеклянный сосуд, защитив, таким образом, показания этого прибора от посторонних воздействий, вызываемых движением воздуха.

ПЕТРОВ[1]

Действия и законы электрического тока интенсивно изучались физиками в первые десятилетия XIX в.

В опытах выдающегося русского ученого В. В. Петрова впервые был в 1802 г. осуществлен электрический дуговой разряд и установлен ряд важнейших его практических применений. И, в частности, такие, как плавление металлов и восстановление их из оксидов. В качестве источника тока Петров в своих экспериментах использовал созданную им огромную для своего времени батарею из 2100 элементов. Свои исследования по электричеству, в которых описаны опыты с электрической дугой, Петров опубликовал в 1803 г. в книге «Известие о гальвани-вольтовских опытах».

Из книги В. В. Петрова «Известие о гальвани-вольтовских опытах»

О расплавлении и сжигании металлов и многих других горючих тел, также о превращении в металлы некоторых металлических оксидов посредством гальвани-вольтовской жидкости[2]

Если на стеклянную плитку или на скамеечку со стеклянными ножками будут положены *два или три древесных угля, способные для произведения светоносных явлений посредством гальвани-вольтовской жидкости,* и если потом металлическими изолированными направлятелями[3] (directores), сообщенными с обоими полюсами *огромной* батареи, приближать оные один к другому на расстояние от одной до трех линий[4], то является между ними весьма яркий белого цвета свет или пламя, от которого оные угли скорее или медлительнее загораются и от которого темный покой довольно ясно освещен быть может.

Когда вместо одного угля будет употреблена изолированная и сообщенная с одним полюсом *огромной* батареи проволока с припаянным к одному ее концу того же или особливого металла маленьким конусом или только с закругленным концом, а к нему приспособлены, через легчайшее орошение[5] его чистой водой, куски листового олова, серебра, золота и цинка так, чтобы они висели в воздухе, а после будут подносимы к углю, положенному на стеклянную плитку или на скамеечку со стеклянными ножками и сообщенному посредством цепочки или шнурка из серебряной книппели[6] с другим полюсом батареи; то между ними является больше или меньше яркое пламя, от которого сии металлы иногда мгновенно расплавляются, сгорают также с пламенем какого-нибудь цвета и превращаются в оксид, а особливо цинк, из которого происходящий белого цвета оксид поднимается в воздух наподобие маленьких нежных пушинок.

Если же листовые металлы будут сжигаемы в стеклянном с двумя противоположными отверстиями шаре, то можно собрать большее или меньшее количество оксида, свойственного каждому металлу цвета.

Когда тонкая железная, согнутая в спиральную фигуру и притом изолированная проволока, хотя с привязанным к одному ее кончику кусочком мягкого древесного трута, хотя и без оного и сообщенная с одним полюсом *огромной* батареи, будет употреблена для опыта вместо упомянутых листовых металлов и поднесена к углю, сообщенному с другим полюсом батареи; то между ними является также больше или меньше яркое пламя, от которого трут загорается, а конец проволоки почти во мгновение ока краснеет, скоро расплавляется и начинает гореть с пламенем и разбрасыванием весьма многих искр по различным направлениям. А когда проволока с раскаленным уже концом будет опущена в

стеклянный сосуд, наполненный кислотворным газом[7] (gaz oxygenium); то раскаленный ее конец начинает еще скорее расплавляться и горит с чрезвычайно ярким пламенем, разбрасывая многочисленные искры по всей полости сосуда.

Если для сего же опыта вместо железной проволоки будет употреблена серебряная проволока, книппель или сделанный из нее шнурок; то они также мгновенно загораются и весьма скоро сгорают с ярким пламенем по большей части беловатого цвета.

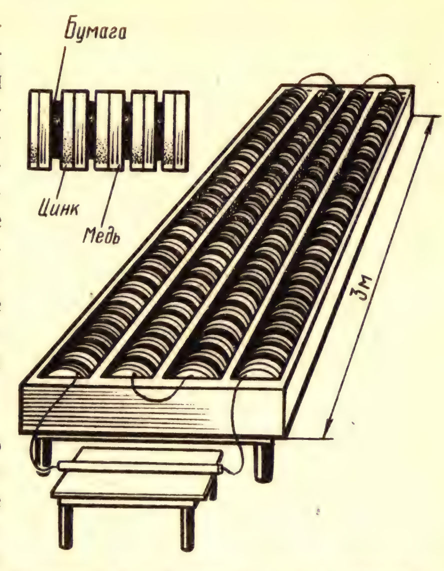
Огнем, сопровождающим течение гальвани-вольтовской жидкости, весьма удобно мог я зажигать водотворный газ[8] (gaz hydrogenium), смешанный с атмосферным воздухом в электрических пистолетах, а чистый сей же газ при выхождении его в воздух из электрической новейшего строения лампады, также обыкновенный порох (pulvis purius) в медной электрической пушечке, холодный винный спирт, серный и селитряный эфиры[9] (aether vitrioIicuss, sulphuricus et nitricus), мятное и гвоздичное масла (oleum menthae et caryophyllorum), налитые в металлическое мелкое блюдце, сообщенное с одним полюсом *огромной* батареи, когда только к горючим сим жидкостям подносил я верх маленького металлического конуса, припаянного к одному концу изолированной проволоки, сообщенной с другим полюсом батареи.

При производстве сих последних опытов имел я много случаев заметить, что они гораздо скорее и надежнее удаются тогда, когда изолированной проволоки верх конуса будет подносим к краю сосудца, едва только орошенному какой-нибудь из вычисленных горючею жидкостью, а не к самой середине сосудца, где обыкновенно бывает больше жидкости в вогнутой части его донышка. Впрочем, я также заметил, что для получения успеха в зажигании объявленных горючих жидкостей годится проволока и с закругленным только концом.

Я многократно зажигал писчую и хлопчатую бумагу, пересыпанную и не пересыпанную порошком канифоли (colophonium), так что они загорались с настоящим пламенем и превращались в уголь, когда только в расстоянии от одной до двух линий были держаны *между древесным углем, способным для произведения светоносных явлений посредством гальвани-вольтовской жидкости*, либо между закругленным концом *наипаче толстой* металлической изолированной проволоки, кои находились в сообщении с одним полюсом *огромной* батареи, и между закругленным концом либо верхом маленького конуса, припаянного к другой проволоке, которая была сообщена с другим полюсом батареи.

Но сии опыты мог я производить гораздо скорее и удачнее тогда, когда в той и другой бумаге сделаны были маленькие, от двух до трех квадратных линий шириною, дырочки, а против сих, во взаимном расстоянии от одной до двух линий, держал я закругленные концы или верхи маленьких конусов, припаянных к концам двух *толстых* металлических изолированных проволок, сообщенных с обоими полюсами *огромной* батареи.

Следствия опытов, с желанным успехом деланных для зажигания писчей и хлопчатой бумаги наипаче последним способом, открыли мне возможность зажигать огнем, сопровождающим течение гальвани-вольтовской жидкости, даже тонкие дощечки *сухих по крайней мере дерев,* также пучки *сухих* трав и соломы, которые загорались с настоящим пламенем тогда, когда и в оных были сделаны от двух до трех квадратных линий шириною дырочки, а против сих держаны, во взаимном расстоянии от одной до двух линий, закругленные концы либо верхи маленьких конусов, припаянных к концам двух *толстых* железных или серебряных изолированных проволок, сообщенных с обоими полюсами *огромной* батареи, производившей *весьма сильное* действие в первые часы после ее составления.



Примерный вид батареи В. В. Петрова.

Примечание. Писчая и хлопчатая бумага, травы, солома и деревянные дощечки, употребленные для описываемых здесь опытов, иногда были поддерживаемы маленькими металлическими щипчиками, кои посредством пробки стояли перпендикулярно в маленьком медном изолированном подсвечнике, каковой бывает между принадлежностями воздушного насоса.

При разрешении[10] воды посредством черного карандаша[11] я приметил, что в промежутках кусочков его, расположенных в стеклянных узких трубочках, происходило также горение сего минерала во многих местах, где тех кусочков кончики отстояли один от другого на одну или на две линии, при употреблении для сих опытов *огромной* батареи.

Черный карандаш загорался также с ясным пламенем и своего рода запахом, когда между крупным его порошком либо мелкими кусочками, проложенными в маленький и мелкий глиняный сосудец, держал или водил я закругленные концы двух толстых металлических изолированных проволок, сообщенных с обоими полюсами *огромной* батареи, так что концы проволок отстояли один от другого на одну и две линии.

Напоследок, посредством огня, сопровождающего течение гальвани-вольтовской жидкости, при употреблении *огромной* батареи, пытал я превращать красные свинцовый и ртутный, а также и сероватый оловянный оксид в металлический вид[12]; следствия же сих опытов были такие, что упомянутые оксиды, смешанные с

порошком древесных углей, салом и выжатыми маслами, при сгорании сих горючих тел, *иногда с пламенем,* принимали настоящий металлический вид, с той только разностью, что ртутных шариков, по причине летучести сего металла, оказывалось гораздо меньше, нежели сколько свинцовых и оловянных частиц различной фигуры. Впрочем, опыты сии деланы были точно таким же образом, как и последние над сжиганием черного карандаша.

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Василий Владимирович Петров* (1761—1834) — русский физик. Петров родился в г. Обояни, ныне Курской области, в семье священника. Окончил духовное учебное заведение — Харьковский коллегиум, затем учился в Учительской гимназии в Петербурге. В 1788 г. Петров начал преподавательскую деятельность в Колывано-Воскресенском горном училище (г. Барнаул), где он вел математику, физику, а также русский и латинский языки. В 1791 г. Петров вернулся в Петербург, где протекала его дальнейшая научная и преподавательская работа. В Главном врачебном училище, преобразованном затем в Медико-хирургическую академию, им был создан лучший в России в начале XIX в. физический кабинет. В 1809 г. Петров стал академиком Петербургской академии наук и в 1810 г. принял в свое ведение физический кабинет Академии. Настойчивое стремление ученого сделать этот кабинет пригодным для новейших исследований по физике не встретило поддержки у руководства Академии. Прогрессивные общественные взгляды Петрова вызвали недоброжелательное отношение к нему со стороны реакционных академиков во главе с графом Уваровым, который в то время был президентом Академии. В 1827 г. Петров был отстранен от ведения кабинетом. Последние годы жизни ученого были омрачены болезнью глаз и отстранением от преподавания в Медико-хирургической академии. Свои труды В. В. Петров публиковал только на русском языке. Это вместе с недоброжелательным отношением к нему начальства Академии способствовало тому, что работы ученого были надолго забыты. Поэтому, когда английский ученый Дэви (1778—1829) описал свои опыты (1809—1810) с электрической дугой, ему был полностью приписан приоритет открытия.

В. В. Петрову принадлежат открытие электрической дуги, ряд исследований по электрической проводимости твердых тел, жидкостей и газов, а также электризации тел. Им была открыта зависимость силы тока от площади поперечного сечения проводника, сконструированы оригинальные приборы для изучения электрического разряда в газах. В отечественной науке Петров первый изучал явление люминесценции. Исследованиями В. В. Петрова было положено начало работам в области практического применения электричества. Академик С. И. Вавилов писал: «Современники автора гальвани-вольтовских опытов меньше всего думали о том, что через сто лет на родине В. В. Петрова, ставшей социалистической, возникнет вопрос о постановке ему памятника». Академик В. И. Вернадский так оценивал значение трудов и деятельности Петрова: «Его экспериментальная мысль была самостоятельной творческой работой, оригинальной по замыслу и исполнению, и существование в среде русского общества такой работы было крупным культурным фактом, несомненно оказавшим влияние на рост и общий уклад его культурной жизни».

[2] «Гальвани-вольтовской жидкостью» Петров называет электричество, образованное с помощью гальванического элемента. Этот термин эквивалентен современному термину *электрический ток.*

[3] «Направлятели» — изолированные держатели угольных стержней.

[4] 1 линия = 2,54 мм.

[5] «Легчайшее орошение» — по-видимому, смачивание.

[6] Серебряная книппель — обвитая тончайшей проволокой из серебра шелковая нить.

[7] «Кислотворный газ» — кислород.

[8] «Водотворный газ» — водород.

[9] Серный и селитряный эфиры — соответственно этиловый $(C_2H_5)_2O$ и азотистоэтиловый $C_2H_5O_2N$ эфиры.

[10] «Разрешение воды» означает разложение воды электрическим током.

[11] Имеется в виду графитовый стержень.

[12] Красные свинцовый и ртутный, а также сероватый оловянный оксиды — это соответственно свинцовый глет PbO, оксид ртути (II) HgO и оксид олова (IV) SnO_2.

ЭРСТЕД[1]


Ханс Кристиан Эрстед

До 1819 г. электричество и магнетизм рассматривались как различные (хотя и схожие) физические явления. Правда, неоднократно высказывалась мысль о том, что между ними должна быть связь. Это следовало, в частности, из фактов намагничивания железных тел при электрическом разряде. Однако, в чем состоит эта связь, было не ясно. Выдающийся датский физик Х. Эрстед, исходя из представления о существовании связи между разными силами природы, высказал предположение о наличии связи между магнитными и электрическими явлениями. Уже в 1807 г. он наметил исследовать действие электрического тока на магнитную стрелку. Однако в то время выполнить эту задачу он не смог. И только в 1819 г. он добился успеха и открыл действие тока на магнитную стрелку. Эрстед следующим образом описывает историю своего открытия: «Так как я уже давно рассматривал силы, проявляющиеся в электрических явлениях всеобщими природными силами, то я должен был отсюда вывести и магнитные действия. Я высказал поэтому гипотезу, что электрические силы, когда они находятся в сильно связанном состоянии, должны оказывать на магнит некоторое действие. Я не мог тогда проделать опыт для проверки, так как совершал путешествие, и внимание мое было занято целиком разработкой химической системы».

В 1820 г. Эрстед впервые опубликовал свое открытие.

Из работы Х. Эрстеда «Опыты, относящиеся к действию электрического конфликта на магнитную стрелку»

Первые опыты по вопросу, рассматриваемому в настоящем труде, связаны с лекциями об электричестве, гальванизме и магнетизме, читанными мною прошедшей зимой. Основной вывод из этих опытов состоит в том, что магнитная стрелка отклоняется от своего положения равновесия под действием вольтаического аппарата[2] и что этот эффект проявляется, когда контур замкнут, и он не проявляется, когда контур разомкнут. Именно потому, что контур оставался разомкнутым, не увенчались успехом попытки такого же рода, сделанные несколько лет тому назад известными физиками...

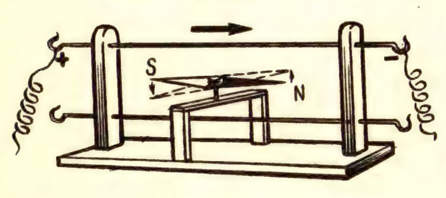
Противоположные концы гальванического аппарата соединяют при помощи металлической проволоки, которую мы будем называть для краткости проволокой-проводником или соединительной проволокой. Действия, которые происходят в этом проводнике и в окружающем его пространстве, мы назовем *электрическим конфликтом*[3].

Предположим, что прямолинейный участок этой проволоки протянут над подвешенной обычным способом *магнитной стрелкой* параллельно направлению последней. Проволоку оставляют достаточно гибкой, чтобы этот участок можно было по желанию перемещать.

В данном случае стрелка изменит свое положение, и полюс, находящийся под той частью соединительной проволоки, которая ближе к отрицательному концу гальванического аппарата, отклонится к западу.

Если расстояние от проволоки до стрелки не превосходит 3/4 дюйма[4], отклонение составляет около 45°. Если расстояние увеличивать, то угол пропорционально уменьшается. Впрочем, абсолютная величина отклонения изменяется в зависимости от мощности аппарата.

Перемещая соединительную проволоку к востоку или к западу, оставляя ее параллельной направлению стрелки, мы ничего не изменяем, кроме величины самого действия. Отсюда следует, что наблюдаемый эффект не может быть приписан притяжению, так как если бы отклонение стрелки зависело от притяжений или отталкиваний, то полюс, который приближается к проволоке, когда последняя находится к востоку, должен был бы приближаться к ней и тогда, когда эта проволока переходит к западу.



Опыт Эрстеда (рисунок из трактата, опубликованного в 1820 г.).

Проводник может быть образован из нескольких проволок или лент, соединенных в пучок. Природа металла безразлична, и если она имеет какое-либо значение, то, возможно, только в отношении величины производимого эффекта. Мы применяли с одинаковым успехом проволоки из платины, золота, серебра, латуни и железа, свинцовые и оловянные ленты и ртуть. Если в проводник включить водяной столб, то эффект не исчезает полностью, по крайней мере, если промежуток имеет всего лишь несколько дюймов в длину. Действие соединительной проволоки на магнитную стрелку передается сквозь стекло, металлы, дерево, воду, смолу, гончарные сосуды и камни. Пластинки из стекла, металла или дерева, проложенные в отдельности и все вместе между проводником и стрелкой, по-видимому, не уменьшают заметным образом влияния последних друг на друга. То же самое относится к диску электрофора[5], к пластинке из порфира[6] или к наполненной водою тарелке. Опыт нам показал, что тот же эффект получается, если стрелка помещена в латунный ящик, наполненный водой.

Вряд ли нужно указывать, что такая передача действий сквозь эти различные вещества не наблюдалась еще ни у обычного электричества, ни у электричества вольтаического. Таким образом, действия, которые проявляются при электрическом конфликте, весьма отличны от тех, которые могут произвести одно или другое из двух электричеств[7].

Если соединительная проволока расположена горизонтально под стрелкой, то эффект будет таким же, как и тогда, когда проволока расположена сверху, но действие будет направлено в обратную сторону. Иными словами, полюс стрелки, под которым находится та часть проволоки, которая ближе всего к отрицательному концу батареи, отклоняется в этом случае к востоку. Чтобы легче запомнить эти результаты, мы будем пользоваться следующей формулой: полюс, который видит отрицательное электричество входящим над собой, отклоняется к западу, а полюс, который видит его входящим под собой, отклоняется к востоку.

Если смещать соединительную проволоку в горизонтальной плоскости таким образом, чтобы она образовывала все больший и больший угол с магнитным меридианом, отклонение стрелки увеличивается, если проволока смещается в ту же сторону, в какую происходит это отклонение. Оно уменьшается, если смещение проволоки производится в обратную сторону.

В том случае, когда соединительная проволока расположена точно в горизонтальной плоскости, в которой может двигаться уравновешенная надлежащим образом стрелка, и когда проволока параллельна направлению стрелки, она не отклоняет ее ни к западу, ни к востоку, а лишь стремится сместить ее в плоскости наклонения. Полюс, более близкий к концу, через который входит отрицательное электричество, опускается, когда он имеет проволоку к западу от себя, и поднимается, когда проволока находится к востоку от него.

Когда соединительная проволока расположена перпендикулярно к меридиану выше или ниже стрелки, последняя сохраняет свое положение равновесия, если, однако, проволока не очень близка к одному из полюсов: он поднимается, когда вход[8] происходит через заднюю часть проволоки, и опускается, когда вход происходит через восточную часть.

Если проволока помещена вертикально перед одним из полюсов стрелки и верхняя часть проволоки сообщается с отрицательным концом батареи, то полюс идет к востоку. Если проволока, оставаясь вертикальной, находится между полюсом и серединой стрелки, этот полюс обращается к западу. Если верхняя часть проволоки сообщается с положительным концом, действия имеют противоположное направление.

Если согнуть соединительную проволоку таким образом, чтобы образовались две параллельные ветви, то такая система в различных случаях отталкивает или притягивает и тот и другой полюс стрелки...

Латунная стрелка, подвешенная так же, как магнитная стрелка, совершенно не приводится в движение под влиянием соединительной проволоки. То же самое относится к стрелке из стекла или из гуммилака[9].

Рассмотрим вкратце, на основании всех этих фактов, как можно представить себе это явление.

Электрический конфликт действует только на магнитные частицы вещества. Все немагнитные тела проницаемы для электрического конфликта. Однако магнитные тела, или, лучше сказать, магнитные частицы этих тел, сопротивляются прохождению этого конфликта, так что они оказываются увлеченными столкновением противоположных действий.

Согласно изложенным фактам, электрический конфликт, по-видимому, не ограничен проводящей проволокой, но имеет довольно обширную сферу активности вокруг этой проволоки.

Кроме того, из сделанных наблюдений можно заключить, что этот конфликт образует вихрь вокруг проволоки. Иначе было бы непонятно, как один и тот же участок проволоки, будучи помещен под магнитным полюсом, относит его к востоку, а находясь над полюсом, увлекает его к западу.

Именно вихрям свойственно действовать в противоположных направленных на двух концах одного диаметра.

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Эрстед Ханс Кристиан* (1777—1851) — датский физик. Эрстед родился в г. Рудкёбинге, расположенном на острове Лангеланн, в семье аптекаря. В 1797 г. он окончил Копенгагенский университет. В 1800 г. Эрстед становится адъюнктом и в 1806 г.— профессором Копенгагенского университета. В назначении на должность профессора немаловажную роль сыграло то обстоятельство, что большим успехом пользовались частные лекции Эрстеда по физике и химии, которые он читал для интересующихся этими науками.

Основные работы Эрстеда посвящены физике, химии, философии.

В трудах Эрстеда неоднократно подчеркивалась мысль о том, что в природе «глубоко проникающий взгляд открывает нам во всем ее многообразии замечательное единство».

Обнаружение отклонения магнитной стрелки под действием электрического тока явилось важнейшей научной заслугой Эрстеда. Его сообщение о своих опытах вызвало ряд последующих важнейших исследований (Ампера, Фарадея и др.) по электродинамике, которые привели к построению теории и практическому использованию электричества.

В числе других исследовании Эрстеда следует отметить изучение (с использованием изобретенного им пьезометра) сжимаемости жидкости.

Эрстед организовал в Дании Общество по распространению естественнонаучных знаний и Политехническую школу в Копенгагене, первым директором которой он был. В течение 36 лет он исполнял должность секретаря Датского королевского общества (академии наук Дании).

С 1830 г. Эрстед был почетным членом Петербургской Академии наук.

[2] «Вольтаический аппарат» — гальванический элемент.

[3] В этом сочинении под «электрическим конфликтом» понимается электрический ток и связанное с ним магнитное поле.

[4] 3/4 дюйма — это около 19 мм (1 дюйм=25,4 мм).

[5] Смоляной или эбонитовый диск.

[6] Порфир — вулканическая порода.

[7] «Обычное электричество» и «электричество вольтаическое» — это электричества, получаемые соответственно при электризации трением и с помощью гальванических элементов. Их тождественность была предметом обсуждения.

[8] Имеется в виду «вход» отрицательного электричества.

[9] Гуммилак — смолистое вещество красного цвета.

АМПЕР[1]

Открытием Эрстеда действия электрического тока на магнитную стрелку заинтересовались многие физики, в частности выдающийся французский физик А. Ампер, который пришел к идее, что магнитные явления порождаются электрическими токами и сводятся к взаимодействию электрических токов. Он провел множество экспериментов, в которых на опыте подтвердил свою гипотезу. Он исследовал взаимодействие двух прямых токов, двух круговых токов, двух соленоидов, показав, что они ведут себя подобно двум магнитам. Один же соленоид подобно магниту устанавливается своей осью вдоль магнитного меридиана Земли.



Андре Мари Ампер

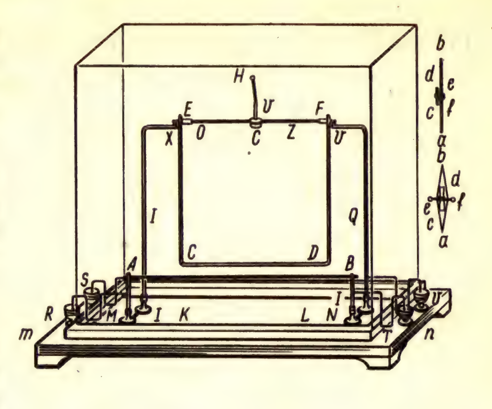
Из работы А. Ампера «...Относительно действий электрических токов»

§ 1. О взаимодействии двух электрических токов

...Одна из проволок была неподвижной, а другая, подвешенная на остриях и снабженная для увеличения подвижности противовесом, могла приближаться и удаляться от первой, оставаясь ей параллельной. Я наблюдал тогда при одновременном пропускании тока через каждую из проволок, что они притягивались друг к другу, когда оба тока были одинаково направлены, и отталкивались друг от друга, когда направление токов было взаимно противоположным.

Но эти притяжения и отталкивания электрических токов существенно отличаются от тех, которые вызываются электричеством в состоянии покоя. Во-первых, они прекращаются, как и процесс химического разложения, в тот момент, когда размыкается проводящий контур. Во-вторых, при обычных электрических притяжениях и отталкиваниях разноименные электричества притягиваются, а одноименные отталкиваются. В случае же электрических токов, как раз наоборот, притяжение наблюдается, когда две проводящие проволоки расположены параллельно таким образом, что одноименные концы находятся с одной стороны и очень близко один возле другого, а отталкивание — когда в параллельных проводниках токи имеют взаимно противоположные направления, так что одноименные концы находятся на возможно большем расстоянии один от другого. В-третьих, когда имеющееся притяжение достаточно сильно, чтобы привести в соприкосновение подвижный проводник с неподвижным проводником, они остаются притянутыми друг к другу, как два магнита, а не разделяются тотчас же, подобно двум соприкоснувшимся вследствие взаимного притяжения разноименно наэлектризованным — одно положительно, другое отрицательно — проводящим телам. Наконец, — и по-видимому это последнее обстоятельство зависит от той же причины, что и предыдущие, — два электрических тока притягиваются и отталкиваются в пустоте так же, как и в воздухе, что опять противоречит тому, что наблюдается при взаимодействии двух проводников, наэлектризованных обычным образом. Здесь не идет речь о том, чтобы объяснить эти новые явления. Притяжения и отталкивания двух параллельных токов, смотря по тому, как они направлены, одинаково или противоположно, являются фактами, полученными из эксперимента, который легко может быть повторен. Чтобы избежать во время этого опыта колебаний подвижного проводника, вызываемых легким движением воздуха, прибор необходимо поместить под стекло, пропустив через подставку участки проводника, ведущие к концам вольтова столба. Наиболее удобным является следующее расположение проводников: один из них закрепляется горизонтально на двух опорах,

другой подвешивается при помощи двух металлических проволок, составляющих с ним одно целое, к стеклянной оси, расположенной выше первого проводника и опирающейся очень тонкими стальными остриями на две другие металлические опоры. К остриям припаяны упомянутые выше две металлические проволоки, так что электрическое соединение устанавливается через опоры при помощи этих остриев...



Оба проводника расположены, таким образом, взаимно параллельно, один возле другого и в одной горизонтальной плоскости. Один из них может совершать колебания вокруг горизонтальной линии, проходящей через концы стальных остриев, и в этом своем движении он остается параллельным неподвижному проводнику.

Над серединой стеклянной оси установлен противовес, который увеличивает подвижность колеблющейся части прибора, повысив ее центр тяжести.

Сперва я думал, что электрический ток должен быть установлен в каждом из проводников с помощью отдельного вольтова столба, но это не обязательно. Достаточно, если оба проводника являются частями одного и того же контура, так как электрический ток существует в нем повсюду с одинаковой интенсивностью. Из этого наблюдения следует, что в рассматриваемых явлениях не играют никакой роли электрические напряжения концов столба... Это подтверждается еще и тем, что на большом расстоянии от вольтова столба можно заставить отклоняться магнитную стрелку при помощи очень длинного проводника, середина коего огибает стрелку сверху и снизу в направлении магнитного меридиана. Этот опыт был мне указан знаменитым ученым, которому физико-математические науки особенно обязаны великим прогрессом, достигнутым в наши дни[2]. Опыт удался полностью.

Обозначим через *A* и *B* концы неподвижного проводника, через *C* — конец подвижного проводника, близкий к *A*, и через *D* — конец того же проводника, близкий к *B*. Если один конец столба соединить с *A*, затем соединить *B* с *C*, а *D* присоединить к другому концу столба, то ясно, что электрический ток в обоих проводниках будет одного направления, и мы увидим, что проводники притягиваются. Если же, наоборот, *B* соединить с *D*, а *C* — с другим концом столба, токи в обоих проводниках будут взаимно-противоположного направления, и проводники будут от-

талкиваться. Так как притяжения и отталкивания электрических токов происходят во всех точках контура, то понятно, что одним неподвижным проводником можно притягивать и отталкивать сколько угодно других проводников и изменять направление скольких угодно магнитных стрелок. Я намерен устроить прибор с одним неподвижным и двумя подвижными проводниками, так чтобы либо оба проводника одновременно притягивались или отталкивались, либо один притягивался, а другой в то же время отталкивался, в зависимости от способа соединения их друг с другом.

Ввиду успеха опыта, указанного мне маркизом де-Лапласом, можно было бы, взяв столько проводников и магнитных стрелок, сколько имеется букв, и помещая каждую букву на отдельной стрелке, устроить своего рода телеграф с помощью одного вольтова столба, расположенного вдали от стрелок. Соединяя поочередно концы столба с концами соответствующих проводников, можно было бы лицу, которое наблюдало бы за буквами на стрелках, передавать сведения со всеми подробностями и через какие угодно препятствия. Если установить со стороны столба клавиатуру с буквами и производить соединения нажатием клавиш, то этот способ сообщения мог бы применяться достаточно просто и не требовал бы больше времени, чем необходимо для нажатия клавиш на одной стороне и чтения каждой буквы на другой*.

Вместо того, чтобы давать подвижному проводнику перемещаться параллельно неподвижному, можно дать ему возможность лишь вращаться в плоскости, параллельной неподвижному проводнику вокруг общего перпендикуляра, проходящего через середины обоих проводников. Тогда, как следует из установленного выше закона притяжения и отталкивания электрических токов, будет происходить одновременное притяжение или отталкивание каждой половины обоих проводников, в зависимости от того, будут ли токи направлены в одну сторону или взаимно противоположно. Подвижный проводник будет при этом поворачиваться до тех пор, пока не станет параллельным неподвижному, так что токи в обоих проводниках будут одинаково направлены...

§ 3. О взаимодействии между электрическим проводником и магнитом

...Я начал свое рассуждение, когда хотел найти причины новых явлений, открытых г. Эрстедом, с того, что порядок, в котором были открыты два явления, не имеет никакого значения для вывода аналогий, наблюдаемых в этих явлениях. Мы могли бы

---

* После редактирования настоящего труда я узнал от г. Араго[3], что подобный телеграф был уже предложен г. Земмерингом, с той лишь разницей, что вместо отклонения магнитной стрелки, тогда еще неизвестного, автор предлагал наблюдать разложение воды в стольких сосудах, сколько имеется букв[4].— Прим. автора.

предположить, что, прежде чем узнали о способности магнитной стрелки принимать постоянное направление с юга на север, было известно ее свойство быть приводимой электрическим током в положение, перпендикулярное к этому току, таким образом, что южный полюс стрелки относится влево от тока. Лишь затем будто бы открыли ее свойство постоянно поворачивать к северу тот из своих концов, который относился влево от тока. Для того, кто хотел бы дать объяснение постоянному направлению стрелки с юга на север, разве не показалась бы самой простой мысль, которая непосредственно должна у него возникнуть, что в земле существует электрический ток, направленный таким образом, что север находится налево от человека, который, лежа на поверхности и обратившись лицом к стрелке, имел бы этот ток в направлении от ног к голове, т. е. что в земле существует электрический ток с востока на запад, в направлении, перпендикулярном к магнитному меридиану.

...Далее, если электрические токи являются причиной направляющего действия земли, то электрические токи будут также причиной направляющего действия одного магнита на другой. Следовательно, надлежит рассматривать магнит как собрание электрических токов, проходящих в плоскостях, перпендикулярных к его оси, и направленных таким образом, что южный полюс магнита, которым он обращается к северу, находится справа от этих токов... Я воспроизвел это расположение, насколько это было возможно, при помощи электрического тока по согнутому в спираль проводнику; эта спираль была устроена из латунной проволоки и имела на концах два прямолинейных участка из той же проволоки, которые были заключены в стеклянные трубки*, чтобы не сообщаться между собой и чтобы их можно было присоединить к двум концам столба.

В зависимости от направления, в котором пропускают ток через такую спираль, она действительно с силой притягивается или отталкивается полюсом магнита, который подносят к ней таким образом, чтобы направление его оси было перпендикулярно к плоскости спирали. Притяжение или отталкивание зависит от того, направлены ли электрические токи спирали и магнитного полюса одинаково или противоположно. Заменяя магнит второй спиралью, в которой ток направлен так же, как в магните, мы получаем такие же притяжения и отталкивания. Этим путем я открыл, что два электрических тока притягиваются, когда они одинаково направлены, и отталкиваются в обратном случае.

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Андре Мари Ампер* (1775—1836) — французский физик и математик. Ампер родился в г. Лионе. Его отец, хорошо образованный человек, был коммерсантом и впоследствии Королевским прокурором г. Лиона.

---

* Впоследствии я изменил это расположение... — Прим. автора.

В раннем возрасте у Ампера проявились любовь к чтению, математические способности, стремление к разносторонним знаниям. Под руководством отца он получил так называемое домашнее образование. Юный Ампер самостоятельно изучал книги по математике, сочинения по ботанике, занимался физикой. Он рано проникся любовью к естественным наукам и философии. Важнейшим источником знаний для него была «Энциклопедия», издававшаяся под редакцией знаменитых французских просветителей Д. Дидро и Ж. Даламбера. Амперу было 14 лет, когда он уже прочитал все 20 томов «Энциклопедии».

Трудовую деятельность Ампер начал в качестве домашнего учителя: он стал давать частные уроки математики, физики, химии. Уроки Ампера имели успех. В 1801 г. он был принят на должность учителя физики и химии в Центральную школу в Бурк-ан-Брес. Первые труды Ампера по математике получают высокую оценку Даламбера и Лапласа — известных французский ученых того времени. В 1805 г. Ампер занимает место преподавателя математики в одном из лучших учебных заведений Франции — Политехнической школе в Париже. В 1814 г. Ампера избирают членом Парижской академии наук. В 1824 г. после 20 лет работы в Политехнической школе Ампер занимает должность профессора физики Нормальной школы в Париже.

Научные работы Ампера до 1820 г. относятся преимущественно к математике и химии. Известие об опытах Эрстеда чрезвычайно заинтересовало Ампера. Оно натолкнуло его на мысль о том, что магнитные взаимодействия сводятся к взаимодействию электрических токов. 18 сентября 1820 г. (через неделю после того, как Ампер узнал об открытии Эрстеда) он выступил на заседании Парижской академии наук с первым и 25 сентября — со вторым докладами о результатах проведенных им исследований электромагнитных явлений.

В протоколе Академии наук о заседании 25 сентября записано: «Я придал большое развитие этой теории и известил о новом факте притяжения и отталкивания двух электрических токов без участия какого-либо магнита, а также о факте, которой я наблюдал со спиралеобразными проводниками. Я повторил эти опыты во время этого заседания». Таким образом, Ампер открыл механическое взаимодействие токов. Далее он ставит перед собой задачу — установить закон, которому подчиняется это явление. Эта нелегкая задача была им решена.

На основании гипотезы о существовании молекулярных токов Ампер построил первую теорию магнетизма.

Преподавательская работа требовала от Ампера большой затраты времени. Ампер в одном из своих писем сообщал: «Я принужден бодрствовать глубокой ночью... Будучи нагружен чтением двух курсов лекций, я тем не менее не хочу полностью забросить мои работы о вольтаических проводниках и магнитах. Я располагаю считанными минутами». Несмотря на такую загруженность, Ампер подготовил и издал в 1826 г. свой основной труд — «Теория электродинамических явлений, выведенная исключительно из опыта».

В честь Ампера названа единица силы тока — а м п е р.

[2] Речь идет о французском ученом П. С. Лапласе (1749—1827).

[3] *Араго Доминик Франсуа* (1786—1853) — французский ученый.

[4] Указанный телеграф был предложен С. Т. Земмерингом (1755—1830) в 1809 г. Телеграф, идея которого высказана Ампером, был построен в России в 1832 г. П. Л. Шиллингом (1786—1837), в Германии в тридцатых годах К. Ф. Гауссом (1777—1855), а также В. Э. Вебером (1804—1891).

ОМ[1]

Большое значение для развития учения об электричестве и магнетизме имели работы выдающегося немецкого физика Г. Ома. Он открыл новый закон, носящий его имя,— основной закон постоянного тока, связывающий между собой силу тока, сопротивление и напряжение. Первоначально Ом установил данный закон для участка цепи, а затем для всей цепи. Ом, проводя свои опыты, пользовался гальваническими элементами. Он также собрал оригинальную установку, в которой источником электродвижущей силы был термоэлемент. Ниже приведены отрывки из статьи Ома, в которой он описал свои исследования.



Георг Ом

Из работы Г. Ома «Определение закона проводимости контактного электричества металлами...»

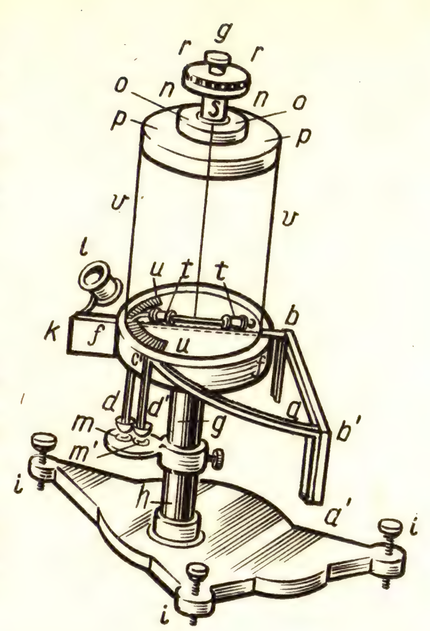
Я брал куски цилиндрической проволоки произвольной длины из различных материалов и помещал их поочередно в цепь. Из двух проволок я ту проволоку, которая больше ослабляла ток, укорачивал до тех пор, пока она не достигала проводимости, равной проводимости другой проволоки. ...Так я получил следующие значения длины проволок одинаковой проводимости из различных металлов: медь —1000, золото —574, серебро[2] —356, цинк — 333, латунь —280, железо —174, платина —171, олово —168, свинец —97.

Когда я в прошлом году ставил эти опыты, я повторял каждый из них несколько раз в измененных условиях и получал постоянно те же результаты с очень небольшими отклонениями...

Далее я брал проволочки из одного и того же материала различной толщины, в пределах 0,12 и 1,40 линий, и поступал с ними так же, как при определении проводимости металлов. Так обнаружился следующий закон: *цилиндрические проводники из разных металлов и различного диаметра имеют одинаковую проводимость, если отношение их длин равно отношению площадей их сечений*[3]...

Отдельные наблюдения я проводил всегда через одинаковые промежутки времени, а на все время опыта выбирал только такие промежутки, чтобы действие цепи проявлялось менее изменчиво[4]. Хотя тем самым погрешности наблюдений были значительно уменьшены, я не мог надеяться таким путем открыть истинный закон проводимости и прибег поэтому к термо-электрической цепи,

на постоянство которой обратил мое внимание Поггендорф[5]; и так как полученные таким путем данные решающим образом выявили закон проводимости, то я не считаю излишним подробно описать использованный мною аппарат, чтобы можно было легче определить степень доверия, которого заслуживают вытекающие отсюда факты.



Отлитый в форме прямоугольной скобы кусок висмута $aba'b'$ (см. рис), большая сторона которого bb' составляла $6^1/_2$ дюйма[6], а каждая меньшая боковая сторона ab, $a'b'$ равнялась $3^1/_2$ дюйма, имел везде 9 линий в ширину и 4 линии в толщину. На каждой стороне я укрепил посредством двух винтов медные полоски $abcd$, $a'b'c'd'$, которые имели 9 линий в ширину, 1 линию в толщину и 28 дюймов общей длины и были изогнуты так, что их свободные концы cd, $c'd'$ входили в две чаши m и m', помещенные на деревянной стойке $fghi$ и наполненные ртутью...

На верхней плите ff стойки размещаются крутильные весы, на описании которых я немного задержусь, так как в них имеются отклонения от обычной конструкции. Стеклянный цилиндр vv, на котором они находятся, имеет 6 дюймов в высоту и $4^1/_2$ дюйма в ширину. Сами весы состоят из двух частей, из которых одна nop имеет слегка коническую поверхность и прочно приклеена на верхней плите стеклянного цилиндра; другая часть grs своей конически выступающей цапфой толщиной в 8 линий плотно входит в полость первой части и своим диском rr шириной в 3 дюйма прилегает к диску первой части nn такой же ширины. На цапфе gs очень тщательно помечен на токарном станке центр вращения слегка коническим углублением...

Магнитная стрелка tt сделана из стальной проволоки толщиной 0,8 линий и около двух дюймов длины, оба ее конца находятся в цилиндрообразных кусочках слоновой кости, в одном из которых имеется слегка заостренная, немного отогнутая вниз проволочка из латуни. Это латунное острие, служащее стрелкой, прилегает плотно к латунной дуге uu, расположенной на стойке и проградуированной...

Выполненная таким образом стрелка держится золотой плющенной проволокой длиной в 5 дюймов, которая укреплена на

весах точно в центре вращения. Эти лентообразные металлические полоски, по моему мнению, гораздо лучше годятся для опытов, чем проволочки цилиндрической формы. ...На выступе *k* стойки была укреплена выпуклая линза *l* с фокусным расстоянием в один дюйм, через которую можно было наблюдать среднее деление шкалы... Наблюдение проводилось таким образом, что каждый раз, когда стрелка отклонялась электрическим током, плющенную проволоку я закручивал в противоположном направлении до тех пор, пока латунное острие стрелки не останавливалось... на среднем делении шкалы; затем определялся угол закручивания (в сотых долях полного оборота), который показывает, как известно, силу, действующую на стрелку.

Проводники, употреблявшиеся для опытов, погружались своими концами в чашечки *m* и *m′* со ртутью... Концы проводников были покрыты смолой, а их торцовые поверхности отшлифованы мелким напильником и каждый раз вновь амальгамированы[7]. Хорошее металлическое соединение отдельных частей является в опытах такого рода необходимым условием, иначе не получится единая картина наблюдений.

Чтобы, наконец, обеспечить частям аппарата, где соприкасаются висмут и медь, постоянную разницу температур, я заказал 2 сосуда из жести... В одном сосуде... постоянно кипела вода... В другой сосуд помещался снег или размельченный лед...

После этого подробного описания аппарата я перехожу к поставленным на нем опытам. Я приготовил 8 различных проводников, которые я обозначу по порядку 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и которые имели соответственно длину 2, 4, 6, 10, 18, 34, 66, 130 дюймов и толщину 7/8 линии. Все они были вырезаны из одного куска так называемой плакированной[8] медной проволоки и приготовлены выше описанным образом. После того как вода полчаса прокипела, проводники включались поочередно в цепь. Между двумя сериями опытов одного и того же дня, занимавшими 3—4 часа, делался перерыв в час, в течение которого добавлялась новая подогретая вода, которая вскоре закипала, затем проводники помещались в цепь уже в обратном порядке. Так я получил следующие результаты.

Время наблюдения	Серия опытов	Проводники							
		1	2	3	4	5	6	7	8
8 янв. (1826)	I	326,75	300,75	277,75	238,25	190,75	134,50	83,25	48,5
11 янв.	II	311,25	287,00	267,00	230,25	183,50	129,75	80,0	46,0
	III	307,00	284,00	263,75	226,25	181,00	128,75	79,0	44,5
15 янв.	IV	305,25	281,50	259,00	224,00	178,50	124,75	79,0	44,5
	V	305,00	282,00	258,25	223,5	178,00	124,75	78,0	44,0

Бросается в глаза, что действующая сила изо дня в день заметно уменьшается. Следует ли искать причину этого уменьшения в

изменении мест касания или, может быть, в том, что 8 и 11 января были очень холодные дни, а сосуд со льдом стоял все еще у окна плохо натопленной комнаты, я не решаюсь судить, но я считаю нужным добавить, что с 15 января я не мог больше заметить значительных различий...

Выше приведенные данные можно вполне удовлетворительно свести к уравнению:

$$X=\frac{a}{b+x},$$

где X — сила магнитного действия на проводник, длина которого x, а a и b представляют собой постоянные величины, зависящие от возбуждающей силы и сопротивлений остальных частей цепи[9].

Если придать величине b значение 20,25, а величине a в различных сериях опыта значения 7285, 6965, 6885, 6800, 6800, то получим для X после расчета ниже следующие значения[10].

Серия опытов	Проводники							
	1	2	3	4	5	6	7	8
I	328,0	300,50	277,50	240,75	190,50	134,50	84,25	48,50
II	313,0	287,25	265,33	230,25	182,00	128,33	80,75	46,33
III	309,5	284,00	262,33	228,00	180,00	127,00	79,75	45,75
IV	305,5	280,50	259,00	224,75	177,75	125,25	79,00	45,00
V	305,5	280,50	259,00	224,75	177,75	125,25	79,00	45,00

Если сравнить эти значения, полученные вычислением, с предыдущими, полученными в опытах, то окажется, что различия так малы, как это вполне справедливо можно ожидать в такого рода опытах. Однако я не хотел на этом останавливаться и решил проверить действие вышеприведенной формулы на границах ее действия, что наиболее полезно для определения всеобщей справедливости закона, выведенного из нескольких случаев.

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Георг Симон Ом* (1787—1854) — немецкий физик. Родился в г. Эрлангене в семье ремесленника. Окончив гимназию, Ом поступил в Эрлангенский университет, но прервал обучение из-за материальных затруднений. Работал учителем в Готштадте (Швейцария). Самостоятельно подготовил докторскую диссертацию и защитил ее в Эрлангенском университете в 1811 г. После этого Ом преподавал математику, физику в различных школах в Германии.

В 1826 г. Ом установил формулу для постоянного тока в электрической цепи, известную теперь как закон Ома. Признание закона Ома пришло не сразу, а лишь спустя примерно 10 лет после его открытия.

Кроме исследований по электричеству, Омом были выполнены работы по оптике, кристаллооптике, акустике.

В 1833 г. Ом становится директором Политехнической школы в Нюрнберге, в 1849— профессором Мюнхенского университета.

Признанием важности сделанного Омом открытия явилось, в частности, его избрание в 1842 г. членом Лондонского королевского общества.

В честь Ома названа единица электрического сопротивления — ом.

[2] Позднее, повторяя опыты и взяв серебряную проволоку с тщательно зачищенной поверхностью, Ом установил, что проводимость серебра выше проводимости меди.

[3] Здесь Ом пришел к формуле сопротивления проводника.

[4] Действие гальванических элементов не было стабильным. Оно довольно быстро ослаблялось после замыкания цепи и тем больше, чем меньше было ее сопротивление. Поэтому сопротивления проводников, помещаемых поочередно в цепь, не должны были сильно отличаться друг от друга.

[5] *Поггендорф Иоганн Кристиан* (1796—1877) — немецкий физик, основатель и редактор известного журнала «Анналы физики и химии».

[6] 1 дюйм=25,4 мм.

[7] Амальгамированы — покрыты ртутью.

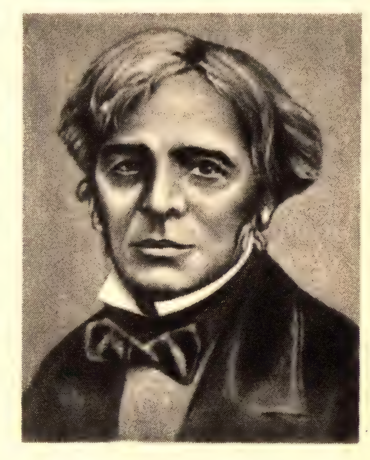
[8] Проволока, на поверхность которой нанесен тонкий слой другого металла или сплава.

[9] Величины в формуле, в современном их понимании, обозначают: X — сила тока, x — сопротивление проводника, a и b — соответственно ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока. В опытах Ома эти величины составляли примерно 8 мВ и 3 мОм.

[10] Выраженные в амперах, приведенные значения X лежат в пределах приблизительно от 2,5 до 0,3 А.

ФАРАДЕЙ[1]

Так же как Эрстед, великий английский физик М. Фарадей верил, что между «силами» природы должна существовать связь. Зная об исследованиях Ампера, который показал, что электрические явления порождают магнитные, он пришел к мысли о том, что должно существовать и обратное явление. В 1823 г. Фарадей записал в своем дневнике: «Обратить магнетизм в электричество». Над этой задачей Фарадей работал 8 лет и в 1831 г. решил ее. Он открыл электромагнитную индукцию — новое явление, которое подробно исследовал и описал в ряде статей. Открытие Фарадея было новым шагом в изучении электромагнитных явлений.



Майкл Фарадей

Из труда М. Фарадея «Экспериментальные исследования по электричеству»[2]

...Представляется весьма необычайным, чтобы, с одной стороны, всякий электрический ток сопровождался магнитным действием соответствующей интенсивности, направленным под прямым углом к току, и чтобы в то же время в хороших проводниках электричества, помещенных в сферу этого действия, совсем не индуцировался ток, не возникало какое-либо ощутимое действие, эквивалентное по силе такому току.

Эти рассуждения и вытекающая из них как следствие надежда получить электричество при помощи обыкновенного магнетизма в разные времена побуждала меня экспериментально изучить индуктивное действие электрических токов. Недавно я добился положительных результатов, и при этом не только оправдались мои надежды, но я получил в руки ключ, который, как мне кажется, открывает дверь к полному объяснению магнитных явлений Араго[3], а также к открытию некоторого нового состояния, которое, быть может, играет большую роль в некоторых наиболее важных действиях электрических токов.

Эти результаты я предполагаю описать не в том порядке, в каком они были получены, а таким образом, чтобы дать наиболее сжатое образование их в целом.

Раздел 1

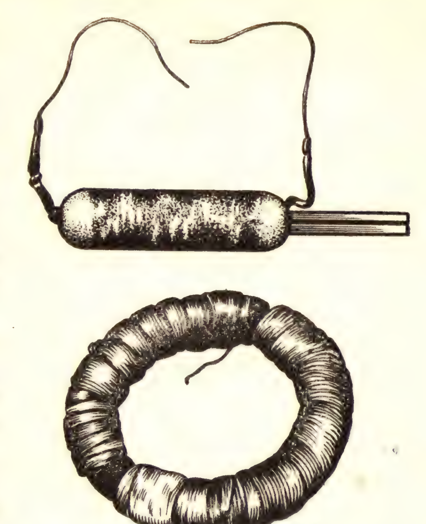
Об индукции электрических токов

Около двадцати шести футов[4] медной проволоки диаметром в одну двадцатую дюйма[5] было намотано на деревянный цилиндр в виде спирали; отдельные витки спирали предохранялись от касания проложенным между ними тонким шнурком. Эта спираль была покрыта коленкором[6], а затем таким же способом была навита вторая проволока. Этим путем были навиты одна на другую двенадцать спиралей, длиной в среднем по двадцать семь футов проволоки каждая, и все в одном направлении. Первая, третья, пятая, седьмая, девятая и одиннадцатая спирали были соединены конец с концом так, что образовали одну общую катушку; остальные были соединены таким же способом; таким образом получились две основные, тесно переплетенные друг с другом спирали, имеющие одинаковое направление, нигде не соприкасающиеся и содержащие каждая по сто пятьдесят пять футов проволоки.

Одна из этих спиралей была соединена с гальванометром, другая — с хорошо заряженной гальванической батареей из десяти пар пластин в четыре квадратных дюйма каждая, причем медные пластины были двойные; однако не удалось наблюдать ни малейшего отклонения стрелки гальванометра...

Двести три фута медной проволоки в одном куске были намотаны на большой деревянный барабан; другие двести три фута

такой же проволоки были проложены в виде спирали между витками первой обмотки, причем металлический контакт был везде устранен посредством шнурка. Одна из этих спиралей была соединена с гальванометром, а другая — с хорошо заряженной батареей из ста пар пластин в четыре квадратных дюйма с двойными медными пластинами. При замыкании контакта наблюдалось внезапное, но очень слабое действие на гальванометр, и подобное же слабое действие имело место при размыкании контакта с батареей. Но в дальнейшем, при прохождении гальванического тока по одной из спиралей, не удалось обнаружить отклонения гальванометра или иного действия на вторую спираль, похожего на индукцию, хотя мощность батареи и была явно велика, о чем можно было судить по нагреванию всей присоединенной к ней спирали и по яркости разряда, если он пропускался через древесный уголь.



Катушки, использованные Фарадеем в его опытах по электромагнитной индукции.

Повторение опытов с батареей из ста двадцати пар пластин не производило других действий; но в этом, как и в предыдущем случае, было установлено, что незначительное отклонение стрелки, получающееся в момент замыкания контакта, всегда имело одно и то же направление и что подобное ему слабое отклонение, вызываемое размыканием контакта, было направлено в обратную сторону, и далее, что эти действия наблюдаются и с прежними катушками[7]...

Результаты, которые к этому времени были мною получены с магнитами, привели меня к мысли, что ток от батареи при пропускании его через один проводник действительно индуцирует подобный же ток в другом проводнике, но что этот ток длится всего один момент и по природе своей походит скорее на электрическую волну, возникающую при разряде обыкновенной лейденской банки, чем на ток от гальванической батареи, и что поэтому он, быть может, окажется в состоянии намагнитить стальную иглу, хотя на гальванометр действует едва-едва.

Это предположение подтвердилось: действительно когда я, заменив гальванометр небольшой полой спиралью, намотанной на стеклянную трубку, ввел внутрь ее стальную иглу, соединил батарею, как и ранее, с индуцирующим проводом и затем вынул иглу еще до момента размыкания контакта с батареей, то она оказалась намагниченной...

В предыдущих опытах провода были расположены близко друг от друга, и контакт индуцирующего провода присоединялся к батарее на то время, когда требовалось иметь индукционное действие. Но так как можно было бы предполагать, что это особое действие проявляется только в моменты замыкания и размыкания контакта, то я производил индукцию и другим путем. Несколько футов медного провода были натянуты большими зигзагами, в виде буквы *W*, на поверхности широкой доски; второй провод был натянут точно такими же зигзагами на второй доске, так что при поднесении ее к первой провода коснулись бы друг друга на всем протяжении, если бы между ними не был проложен лист толстой бумаги. Один из этих проводов был соединен с гальванометром, а другой — с гальванической батареей. Затем первый провод перемещался по направлению ко второму, и во время его приближения стрелка отклонялась. Во время удаления провода стрелка отклонялась в противоположном направлении. Если заставлять провода сближаться, а затем удаляться друг от друга в такт с колебаниями стрелки, последние скоро становились весьма значительными; однако по прекращении движения проводов по направлению друг к другу или друг от друга стрелка гальванометра в скором времени возвращалась в свое обычное положение.

При сближении проводов индуцированный ток имел направление, обратное направлению индуцирующего тока. При удалении друг от друга проводов индуцированный ток имел то же направление, что и индуцирующий ток... Когда провода оставались неподвижными, индуцированного тока не было вовсе...

Раздел 34

О магнитных силовых линиях; определенность их характера и их распределение в магните и в окружающем пространстве

С помощью движущегося провода можно суммировать или получить сразу результирующую магнитного действия[9] в нескольких местах; т. е. действие, зависящее от площади или сечения силовых линий; таким образом можно произвести экспериментальное сравнение (этих мест), что с помощью магнитной стрелки неосуществимо, разве что только с очень большим трудом, и притом несовершенно. Все равно как при этом провод движется поперек силовых линий: прямо или косо, в одном направлении или в другом; он при этом подытоживает — принципиально с одинаковой точностью — сумму сил, представленных теми линиями, которые он пересек...

...Когда провод движется среди одинаковых линий (или в поле одинаковой магнитной силы) и с однообразной скоростью, то возникающий при этом электрический ток пропорционален *времени и скорости* движения.

Они[10] показывают также, что вообще количество электри-

чества, приводимого в движение, прямо пропорционально числу пересекаемых линий[11].

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Майкл Фарадей* (1791—1867) — английский физик, основоположник учения об электрических и магнитных полях.

Фарадей родился в предместье Лондона в семье кузнеца. Свое образование он получил в начальной школе. В возрасте 14 лет поступил учеником в переплетную мастерскую. Увлекшись чтением книг, особенно по электричеству и химии, Фарадей начинает сам проделывать описанные в них опыты. Глубокое впечатление на него произвели популярные лекции известного английского химика Дэви. Стремление заниматься научными исследованиями окончательно овладевает Фарадеем. В 1813 г. Дэви принял Фарадея на работу к себе в лабораторию. После путешествия с Дэви по Франции, Италии и Швейцарии в качестве ассистента Фарадей начинает самостоятельные исследования. Он получает в жидком состоянии хлор и некоторые другие газы.

Открытие Эрстедом действия тока на магнитную стрелку привлекает внимание Фарадея к исследованию электрических и магнитных явлений.

В 1824 г. Фарадей избирается членом Лондонского королевского общества. Это было признанием его как ученого. Через год Фарадей становится директором лаборатории, а в 1827 г. он занимает должность профессора химии в Королевском институте.

В 1831 г. Фарадей открыл явление электромагнитной индукции и начал публикацию своих работ, составивших впоследствии три тома «Экспериментальных исследований по электричеству». На основе опытов с гальваническим, статическим, животным и другими видами электричества, считавшимися в то время различными, он делает вывод об их тождественности. Фарадей изучал электролиз и установил законы этого явления (1833—1834). Он исследовал диэлектрические свойства вещества и ввел количественную характеристику этих свойств. С этим исследованием связано и его изучение проводимости газов.

В 1845 г. Фарадей открыл вращение плоскости поляризации света в магнитном поле и явления диа- и парамагнетизма. В этих исследованиях ясно проявляются две основные идеи Фарадея: о взаимосвязи всех сил природы и о роли среды в электрических и магнитных взаимодействиях.

В 1835 г., а затем в 1841 г. Фарадей на некоторое время должен был прервать научную работу, ибо ему необходим был отдых для восстановления здоровья и творческих сил. Постепенно Фарадей отказывался от многих обязанностей, стремясь отдать все свои силы только научным исследованиям. Он не принял предложения стать президентом Лондонского королевского общества. В 1862 г. Фарадей прочел свою последнюю лекцию в Королевском институте и закончил свои эксперименты в лаборатории. С 1830 г. Фарадей был иностранным членом Петербургской Академии наук.

Открытия Фарадея получили всемирное признание. Ф. Энгельс оценивал Фарадея как «величайшего... исследователя в области электричества»*. Русский ученый А. Г. Столетов писал: «Никогда со времен Галилея свет не видал столь-

* Энгельс Ф. Диалектика природы. — Маркс К., Энгельс Ф. Соч., изд. 2-е, т. 20, с. 434.

ких поразительных и разнообразных открытий, вышедших из одной головы, и едва ли скоро увидит другого Фарадея...».

[2] Начало этой работы относится к 1831 г.

[3] Речь, в частности, идет о следующем факте, установленном Араго в 1824 г.: колебания свободно подвешенной магнитной стрелки замедлялись, если под нее подводилась пластина из меди. Это явление до открытия Фарадеем электромагнитной индукции не получало объяснения.

[4] 1 фут = 304,8 мм.

[5] 1 дюйм = 25,4 мм.

[6] Коленкор — род дешевой бумажной материи.

[7] Между двумя медными пластинами, соединенными между собой («плюс» элемента), располагалась цинковая пластина («минус» элемента).

[8] Об этих катушках говорилось выше.

[9] Здесь речь идет о действии магнитного поля на движущийся в этом поле проводник с током.

[10] Имеются в виду результаты опытов.

[11] В современных терминах это означает, что протекший через поперечное сечение проводника заряд пропорционален изменению магнитного потока, вызвавшему ток в этом проводнике.

ЯКОБИ[1]



Борис Семенович Якоби

Физика первой половины XIX в. характеризуется углубленным изучением свойств электрического тока и поиском его практических применений. Обнаружение магнитного действия тока (1820) и последовавшие за этим многочисленные исследования взаимодействия токов и магнитов послужили основой для создания электрических двигателей. Первых успехов в этом достиг выдающийся русский физик и электротехник Б. С. Якоби. Однако отсутствие в то время достаточно мощных генераторов электрического тока (вплоть до 1870 г. основным источником тока оставались электрохимические элементы и батареи) тормозило практическое применение электродвигателей. Работы Якоби по их конструированию и применению сопровождались обширными экспериментами с гальваническими («вольтаическими») элементами. Это привело к изобретению им гальванопластики, сыгравшей революционизирующую роль в ряде промышленных производств (в полиграфии, художественно-прикладном деле и др.). Гальванопластика была в то время наиболее значительным практическим применением электричества.

Ниже помещены фрагменты из письма Якоби Фарадею и ответ Фарадея (по принятому тогда обычаю ученые сообщали о своих работах в письмах, адресованных другим ученым). В своем письме Якоби сообщает об изобретении им метода гальванопластики и создании электродвигателя для судна. К письму были приложены пластинки, на которых методом гальванопластики была воспроизведена надпись: «Фарадею с приветом от Якоби».

Из письма Б. С. Якоби к М. Фарадею

...Несколько времени тому назад, работая над электромагнитными явлениями, я нашел... что при помощи вольтаического действия можно получить рельефную копию с награвированной медной пластины и что с полученной рельефной копии можно получить новую обратную копию тем же самым процессом, так что создалась возможность размножения медных копий в любом количестве. При помощи этого... способа можно воспроизвести самые тонкие и даже микроскопические штрихи, и полученные копии в такой же мере тождественны с оригиналом, что самое тщательное рассмотрение не может обнаружить никакой разницы. Я посылаю Вам отдельным пакетом два образца таких пластин, которые, я надеюсь, Вы примете благосклонно. Рельефная пластина является копией оригинала, выгравированного при помощи резца; вторая пластина представляет собой копию рельефной пластины и, следовательно, вполне идентична с оригиналом...

Я не буду подробно описывать применяемый мною аппарат. Это простая вольтаическая пара с перегородкой, в которой выгравированная пластина играет роль обыкновенной медной пластины и погружается в раствор медного купороса...

Я в ближайшем будущем буду иметь честь послать Вам барельеф из меди, оригинал которого был изготовлен из пластической массы, легко поддающейся художественной обработке. Благодаря этому способу все тончайшие штрихи, которые являются главным достоинством и красотой таких произведений и которые обычно пропадают при отливке, могут быть сохранены; отливка же не в состоянии передать все детали в их чистоте. Художники будут чрезвычайно благодарны гальванизму, который открыл перед ними новую дорогу...

Основным затруднением для применения электромагнетизма к движению машин являлось трудное обслуживание батареи. Это затруднение больше не существует. Прошлую осень я произвел, как Вы, может быть, знаете из газет, первые опыты плавания по Неве на 10-весельной шлюпке, снабженной колесом, вращающимся при помощи электромагнитной машины. Хотя мы плавали целыми днями, обычно с 10—12 пассажирами, я не был удовлетворен первым опытом, ибо обнаружил много ошибок в конструкции машин, плохую их изоляцию, равно как и батарей; я не мог их (эти ошибки.— Ред.) устранить на месте, что вызывало у меня

ужасную досаду. В настоящее время я произвел все необходимые улучшения и в ближайшем будущем возобновлю свои опыты. Опыты прошлого года в соединении с последними усовершенствованиями батареи дают такой результат, что для получения одной лошадиной силы (как ее считают для паровой машины) необходима батарея с 20 кв. футами[2] пластин, распределенными соответствующим образом, однако я надеюсь, что мне удастся получить те же результаты и с 8—10 кв. футами пластин. Если небо сохранит мое здоровье, которое несколько пошатнулось от постоянной работы, я надеюсь, что не дольше, чем через год, мне удастся построить электромагнитное судно с машиной мощностью от 40 до 50 лошадиных сил...[3]

Остаюсь и т. д. Якоби.

С-Петербург 21 июня 1839 г.

Письмо М. Фарадея к Б. С. Якоби

М. Г. Ваше письмо было для меня неожиданной честью и любезностью, и я весьма сердечно благодарю Вас за него. Весьма желал бы в ответ на него сообщить и Вам столь интересные новости, как Ваши, но, в сравнении с Вашим письмом, мое будет крайне бедно, потому что в последнее время я не был настолько крепок здоровьем, чтобы много работать, и не имею теперь ничего рассказать. Меня так сильно заинтересовало Ваше письмо и те большие результаты, о которых Вы даете мне такой обстоятельный отчет, что я перевел его и передал почти целиком издателям Philosophical Magazine[4] в надежде, что они признают эти новости важными для своих читателей. Я уверен, что этим не огорчил Вас; я именно желал, чтобы, подобно мне, и другие знали о достигнутых Вами результатах. По той или иной причине, но наши способы сообщения так неудовлетворительны, что мы получаем известия с Севера Европы крайне несовершенным путем, и я... нахожусь в прискорбном неведении относительно выдающихся явлений в области электрической науки, которые описаны на этом языке. Буду питать надежду, что... вновь услышу, по возможности в непродолжительном времени, о дальнейших результатах Ваших трудов, особенно по части применения к механическим целям, и я душевнейшим образом желаю, что Ваши большие труды получили высокую награду, которую они заслуживают... Как подумаю только об электромагнитной машине в Great Western‘е или British Queen[5] и отправке их этим способом в плаванье по Атлантическому океану... какое это было бы славное дело!

И те пластинки, которые Вы мне прислали, не только весьма мне приятны и лестны, но и сами по себе прекрасны в теоретическом и практическом отношениях...

Ваш покорный слуга М. Фарадей.

Королевский институт. Лондон.

17 августа 1839 г.

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Борис Семенович Якоби* (1801—1874) — русский физик и электротехник, академик Петербургской академии наук.

Якоби родился в Потсдаме (Германия). Окончил Геттингенский университет. С 1837 г. жил в Петербурге и принял русское подданство.

Характерной чертой его научного творчества было стремление использовать достижения науки для нужд практики.

Якоби сконструировал первый в мире практически пригодный электродвигатель с непрерывным вращательным движением вала и в 1838 г. впервые применил его для движения судна (испытания «электрохода» Якоби проводились на р. Неве).

Якоби является изобретателем гальванопластики, которая быстро нашла широкое практическое применение. Сам Якоби много сделал для внедрения этого метода в типографское и монетное дело, а также для производства художественных изделий. В 1840 г. он опубликовал полное описание гальванопластического процесса.

Якоби принадлежит ряд теоретических исследований, относящихся к работе электродвигателя. Он разработал несколько конструкций телеграфных аппаратов и одним из первых в мире построил действовавшие кабельные телеграфные линии. Своей деятельностью ученый во многом способствовал установлению системы мер, участвовал в разработке эталонов, выборе единиц измерений.

[2] 1 фут = 304,8 мм.

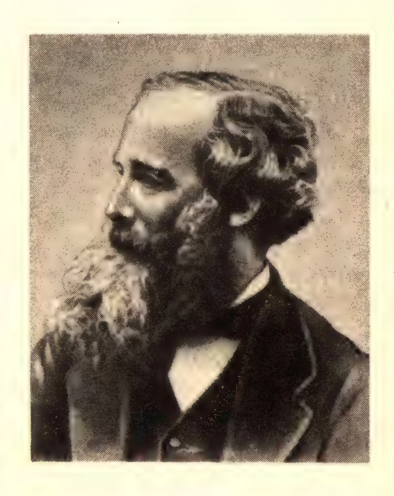
[3] 1 л. с. = 0,735 кВт.

[4] Английский научный журнал.

[5] Крупные английские морские суда.

МАКСВЕЛЛ[1]

До середины XIX в. по вопросу о том, как передаются электрические и магнитные действия, господствующим было представление о мгновенной передаче их, т. е. господствовала теория дальнодействия. Правда, уже Фарадей утверждал, что электрические и магнитные взаимодействия передаются в пространстве от точки к точке непрерывно, т. е. подходил к ним с точки зрения близкодействия. Однако взглядов Фарадея в то время еще никто не разделял. Физики продолжали держаться точки зрения дальнодействия. Для утверждения теории близкодействия необходимо было сделать новый шаг в понимании электрических и магнитных явлений. Этот шаг был сделан знаменитым английским ученым Д. К. Максвел-



Джеймс Клерк Максвелл

лом, который в отличие от большинства своих современников сразу же встал на точку зрения Фарадея. Он поставил перед собой задачу развить дальше взгляды Фарадея на электрические и магнитные явления и построить всю теорию электричества и магнетизма на основе представления о близкодействии. Решая эту задачу, он создал теорию электромагнитного поля, предсказав существование электромагнитных волн и электромагнитную природу света. В своих оригинальных работах Максвеллу пришлось использовать довольно сложный математический аппарат.

Ниже мы приводим выдержки из оригинальной работы Максвелла «Динамическая теория электромагнитного поля», а также из статьи «О действиях на расстоянии», написанной для широкого круга читателей.

Из работы Д. К. Максвелла «Динамическая теория электромагнитного поля»[2]

Наиболее очевидным механическим явлением при электрических и магнитных опытах является взаимодействие, благодаря которому тела, находящиеся в определенных состояниях, приводят друг друга в движение, несмотря на наличие между ними довольно значительного расстояния.

Поэтому для научной трактовки этих явлений прежде всего необходимо установить величину и направление действующей между телами силы, и если найдено, что эта сила в какой-то мере зависит от относительного положения тел и от их электрического и магнитного состояния, то с первого взгляда кажется естественным объяснение этих фактов путем допущения существования чего-то другого, находящегося в покое или в движении в каждом теле, образующего его электрическое или магнитное состояние и способного действовать на расстоянии в соответствии с математическими законами.

Таким путем возникли математические теории статического электричества, магнетизма, механического действия между проводниками, несущими токи, и теория индукции токов.

В этих теориях сила, действующая между двумя телами, рассматривается лишь как зависящая от состояния тел и их относительного положения, окружающая среда не принимается во внимание.

Эти теории допускают более или менее явным образом существование субстанций, частицы которых обладают способностью действовать друг на друга на расстоянии.

...Я предпочел искать объяснения фактов в другом направлении, предполагая, что они являются результатом процессов, которые происходят как в окружающей тела среде, так и в самих возбужденных телах, и пытаясь объяснить взаимодействия между удаленными друг от друга телами без допущения существования

сил, способных непосредственно действовать на заметных расстояниях...

Та теория, которую я предлагаю, может быть названа теорией *электромагнитного поля,* потому что она имеет дело с пространством, окружающим электрические или магнитные тела, и она может быть названа также *динамической* теорией, поскольку она допускает, что в этом пространстве имеется материя, находящаяся в движении, посредством которой и производятся наблюдаемые электромагнитные явления.

Электромагнитное поле — это та часть пространства, которая содержит в себе и окружает тела, находящиеся в электрическом или магнитном состоянии[3]...

Общие уравнения[4] в дальнейшем применяются к случаю магнитного возмущения, распространяющегося через непроводящее поле, и показывается, что единственные возмущения, которые могут распространяться таким образом, это возмущения, поперечные к направлению распространения, и что скорость распространения является скоростью v...

Эта скорость так близка к скорости света, что, по-видимому, мы имеем серьезные основания сделать заключение, что сам по себе свет (включая лучистую теплоту и другие излучения) является электромагнитным возмущением в форме волн...

Из статьи Д. К. Максвелла «О действиях на расстоянии»[5]

...Ньютонов закон тяготения, который в каждом астрономическом наблюдении находит для себя все более и более твердую почву, не только утверждает, что небесные тела действуют друг на друга через неизмеримые пространства, но что две части вещества, одна, лежащая на тысячу миль под землей, другая, погребенная на сотни тысяч миль в недрах Солнца, действуют друг на друга в точности с такой же силой, как будто бы этих слоев, под которыми каждая из них скрыта, вовсе не существовало. Если бы какая-либо среда принимала участие в передаче этого действия, то во всяком случае должна была бы быть некоторая разница в зависимости от того, находится ли в пространстве между телами только эта среда и ничего более или в нем содержится более плотное вещество Земли или Солнца.

Но сторонники прямого действия на расстоянии не довольствуются этого рода примерами, где явления даже на первый взгляд, по-видимому, благоприятствуют их учению. Свои нападки на лагерь противника они ведут далее и утверждают, что даже когда действие и представляется давлением непрерывных частей вещества, то это — непрерывность только кажущаяся, что между телами, действующими друг на друга, *всегда* находится промежуточное пространство. Короче: они утверждают, что действие на

расстоянии не только не невозможно, но что это — единственный способ действия, всюду встречающийся, и что излюбленная старыми учениями vis a tergo[6] в природе не существует и существует только в воображении своих сторонников.

Чтобы доказать, что, когда тело толкает другое, оно не прикасается к нему, всего лучше измерить расстояние между ними. Вот две стеклянные линзы, из которых одна производит давление на другую при помощи некоторого груза. Посредством электрического источника света мы можем получить на экране изображение того места, где одна линза давит на другую. На экране образуется ряд цветных колец. Эти кольца впервые наблюдал и впервые изучал Ньютон. Особый цвет каждого кольца зависит от расстояния между поверхностями обоих стекол. Ньютон составил таблицу цветов, соответствующих расстояниям, так что, сравнивая цвет какого-либо кольца с Ньютоновой таблицей, мы можем определить расстояние между поверхностями в том месте, где находится это кольцо. Цвета располагаются кольцами вследствие того, что поверхности сферичны и, следовательно, удаление частей поверхностей линз друг от друга зависит от их расстояния от линии, соединяющей центры сфер. Центральное пятно системы колец указывает на место, где линзы всего ближе одна от другой, а каждое из последовательных колец соответствует увеличению расстояния между поверхностями на 1/4000 миллиметра.

Сожмем теперь линзы силой, равной весу одной унции[7]; между ними будет все еще измеримый промежуток, даже в том месте, где они всего ближе друг к другу. Оптического контакта между ними еще нет. Чтобы доказать это, приложим больший груз. Центральное пятно окрашивается новым цветом, а диаметры всех колец увеличиваются. Это показывает, что теперь поверхности ближе, чем они были прежде, но все-таки оптического контакта между ними нет, ибо если бы такой контакт был, то центральное пятно было бы черное[8]. Поэтому я увеличиваю грузы, чтобы сблизить линзы до оптического соприкосновения.

Но то, что мы называем оптическим контактом, не есть действительное соприкосновение. Оптический контакт показывает только, что расстояние между поверхностями гораздо меньше длины световой волны. Чтобы показать, что действительного соприкосновения между поверхностями нет, я удаляю грузы. Кольца суживаются, и многие из них исчезают в центре. Теперь можно одно стекло так прижать к другому, что они вовсе не будут стремиться отделиться друг от друга, но так крепко пристанут одно к другому, что при разнятии стекло лопнет не в точке соприкосновения, а в некотором другом месте. Это показывает, что стекла соприкасаются друг с другом гораздо ближе, нежели при настоящем оптическом контакте.

Таким образом мы показали, что тела начинают давить одно на другое уже в то время, когда расстояние между ними еще измеримо, и что при надавливании одного на другое с большей силой,

абсолютного контакта между ними нет, но что их можно сближать все теснее и теснее.

Как же вы можете, скажут сторонники прямого действия на расстоянии, все же поддерживать учение, основанное лишь на грубом опыте донаучных времен, что материя не может действовать там, где ее нет, вместо того чтобы согласиться, что все факты, из которых наши предшественники заключали, что контакт существенно необходим для действия, на самом деле были случаями действия на расстоянии, только расстояния были слишком малы, чтобы их можно было измерить несовершенными средствами наблюдения?

Если мы хотим открывать законы природы, мы можем достичь этого лишь путем возможно более точного ознакомления с явлениями природы, а никак не путем выражения философским языком неопределенных мнений человека, который вовсе не обладает знанием тех фактов, которые всего больше проливают свет на эти законы. Что же касается тех, которые для объяснения этих действий вводят эфирные и иные среды, не имея никаких прямых доказательств существования таких сред или без ясного понимания того, каким образом действуют эти среды, и которые заполняют все пространство тремя или четырьмя эфирами различных сортов, то чем меньше эти люди будут толковать о своих философских сомнениях в существовании действия на расстоянии, тем будет лучше.

Если бы прогресс науки управлялся Ньютоновым первым законом движения, то легко было бы вырабатывать воззрения, опережающие век. Мы должны были бы только сравнивать современную науку с тем, чем она была пятьдесят лет тому назад, и, проведя, в геометрическом смысле, линию прогресса, мы должны были бы получить науку, какой она будет пятьдесят лет спустя.

Научный прогресс в эпоху Ньютона состоял в устранении того небесного механизма, которым загорожено было небо целыми поколениями астрономов; нужно было «смести с неба эту паутину».

Хотя хрустальные сферы, к которым прикреплены были планеты, и были уже удалены, но планеты еще плавали в вихрях Декарта[9]. Магниты были окружены истечениями, а наэлектризованные тела — атмосферами, но свойства этих истечений и атмосфер ничуть не были похожи на свойства обыкновенных истечений и атмосфер.

Когда Ньютон доказал, что сила, действующая на каждое небесное тело, зависит от его положения по отношению к другим телам, то новая теория встретила суровый отпор со стороны передовых философов века, которые отзывались о доктрине тяготения как о возврате к уже отвергнутому способу объяснять все что угодно скрытыми причинами, притягательными силами и тому подобным. Сам Ньютон с мудрой осторожностью, какой отличались все его умозрения, отвечал, что он ничуть не претендует на объяснение

механизма, посредством которого небесные тела действуют друг на друга. Определение того, каким образом их взаимодействие зависит от их относительных положений, было в науке большим шагом вперед, и Ньютон удостоверял, что этот шаг им сделан. Но объяснить процесс, посредством которого это действие совершается, было совсем иное дело, и в своих «Principia»[10] Ньютон и не пытался этого делать...

Но если оставить на время в стороне вопрос о развитии научных идей и сосредоточить все свое внимание на расширении границ науки, то мы увидим, что было в высшей степени важно, чтобы Ньютонов метод был распространен на все отрасли науки, к которым он приложим, что нужно было еще исследовать силы, с какими тела действуют одно на другое, прежде чем пытаться объяснить, *как* сила передается. Всего более было бы подходящим исключительно заняться первой частью задачи тем, которые вторую часть считали совершенно ненужной.

И вот Кавендиш, Кулон и Пуассон[11], основатели точной науки об электричестве и магнетизме, откинув в сторону старые представления о «магнитных истечениях» и об «электрических атмосферах», выдвинутые в минувшем столетии, обратили все свое внимание на определение закона силы, согласно которому наэлектризованные и намагниченные тела взаимно притягивались или отталкивались. Таким путем были открыты истинные законы этих действий, и это было сделано исследователями, которые никогда не сомневались, что действие происходит на расстоянии, без посредства какой-либо среды, и которые посмотрели бы на открытие подобной среды скорее как на осложнение, чем как на уяснение несомненных явлений притяжений.

Теперь мы подошли к великому открытию Эрстедом связи между электричеством и магнетизмом. Эрстед нашел, что электрический ток действует на магнитный полюс, но что он не притягивает и не отталкивает его, а заставляет его двигаться вокруг тока. Он выразил это, говоря, что «столкновение электричеств действует вращающим образом».

Самым очевидным выводом из этого нового факта было то, что действие тока на магнит не есть сила тяги или толчка, но вращающая сила, и, сообразно этому, многие умы погрузились в размышления об эфирных вихрях и потоках, кружащихся вокруг тока.

Но Ампер, благодаря сочетанию в его лице виртуозного математика с гениальным экспериментатором, впервые доказал, что два электрических тока действуют друг на друга, и затем анализировал это действие и нашел равнодействующую системы толкающих и тянущих сил между элементами этих токов.

Однако Амперова формула, в сравнении с Ньютоновым законом тяготения, крайне сложна, и было немало попыток сделать ее более простой.

Я не хочу обременять вас разбором попыток к улучшению

этой математической формулы. Обратимся лучше к самостоятельному методу изысканий, которым пользовался Фарадей в своих исследованиях по электричеству и магнетизму, — исследованиях, которые Фарадей производил в Королевском институте и которые сделали этот институт одной из самых почтенных обителей науки.

Едва ли кто работал более сознательно и систематично, напрягая все свои умственные силы, нежели это делал Фарадей с самого начала своей ученой карьеры. Но в то время как общее направление научного метода состояло в приложении идей математики и астрономии к каждому новому исследованию поочередно, обстоятельства, как известно, сложились для Фарадея так, что он не мог приобрести познаний в математике, а его сведения в астрономии были почерпнуты главным образом из книг.

Поэтому-то хотя он и питал глубокое уважение к великому открытию Ньютона, но смотрел на тяготение как на своего рода священную тайну, которую он, не будучи астрономом, не имел права ни отрицать, ни подвергать сомнению, и его долгом было веровать в нее в той форме, в какой она была вручена ему. Но такая слепая вера неспособна была побудить его объяснять новые явления путем непосредственного притяжения.

Сверх того, трактаты Пуассона и Ампера были облечены в такую математическую форму, что извлечь из них какую-либо пользу мог только тот, кто тщательно изучал математику; но весьма сомнительно, чтобы таким занятиям мог предаваться человек в зрелые годы.

Итак, Фарадей при всей своей проницательности, при всей своей преданности науке, при всем своем искусстве в экспериментировании лишен был средств следовать направлению мыслей, приведшему французских ученых к блестящим результатам, и был вынужден уяснять себе явления посредством системы символов, более понятных ему, вместо того чтобы усвоить язык, который один господствовал до тех пор среди ученых.

Этими новыми понятиями были те силовые линии, расходящиеся во все стороны от наэлектризованных и намагниченных тел, которые Фарадей видел своим умственным оком так же ясно, как и те материальные тела, из которых они исходят.

Идея о силовых линиях и о методе их представления посредством железных опилок не была новостью. Их многократно наблюдали и математически изучали, как интересное и любопытное явление в науке. Но послушаем лучше самого Фарадея, как он знакомит своего читателя с методом, который в его руках превратился в такое могучее орудие исследования[12].

«Экспериментатор, желающий изучать магнитную силу посредством проявления ее магнитными силовыми линиями, поступил бы произвольно и опрометчиво, отказавшись от самого ценного средства, от употребления железных опилок. Пользуясь ими, он может многие свойства этой силы, даже в сложных случаях, тотчас показать наглядно, может проследить глазом различные направле-

ния силовых линий и определить относительную полярность, может наблюдать, в каком направлении сила эта возрастает, в каком убывает, а в сложных системах может определить нейтральные точки или места, где нет ни полярности, ни силы, даже если они встретятся внутри сильных магнитов. При их употреблении вероятные результаты видны сразу и могут быть получены ценные указания для будущих ведущих опытов».

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Джеймс Клерк Максвелл* (1831—1879) — английский физик, создатель теории электромагнитного поля, один из основоположников статистической физики. Максвелл родился в Эдинбурге (Шотландия) в дворянской семье. В раннем возрасте проявилось его стремление к познанию природы, окружающих его вещей. В школе у юноши пробудился большой интерес к геометрии. В возрасте 14 лет им была выполнена первая научная работа, в которой он дал обобщение метода вычерчивания овалов. Когда Максвелл в 1847 г. поступил в Эдинбургский университет, область его научных интересов была уже определена — ею стала физика. Он углубляется в изучение математики, физики, химии, проявляет большой интерес к лекциям по философии. В 1850 г. Максвелл переходит учиться в Кембриджский университет. После окончания Тринити-колледжа этого университета (в 1854 г.) он стал преподавать в нем. В 1856 г. Максвелл становится профессором физики университета в Шотландии, затем Лондонского университета и с 1871 г. Максвелл — профессор Кембриджского университета. В последнем он основал известную Кавендишскую лабораторию и был первым ее директором.

Первая из основных работ Максвелла по электродинамике называлась «О фарадеевых силовых линиях» (1855—1856). В ней молодым ученым был сформулирован метод и, по существу, намечена программа исследования (построения теории) электромагнитных явлений на основе представления о близкодействии.

О «Введении» к этой работе немецкий физик Л. Больцман позже писал: «Оно показывает, как мало обязан он был случайности в своих позднейших открытиях; более того, оно показывает, что он работал по хорошо обдуманному заранее плану. Подобный план грезился, может быть, и другим великим исследователям, но не многие из них сознавали его так ясно и имели достаточно искренности, чтобы заранее разъяснить его так просто».

Последующая разработка теории электромагнитного поля была дана Максвеллом в работах: «О физических силовых линиях» (1861—1862), «Динамическая теория электромагнитного поля» (1864), «Трактат об электричестве и магнетизме» (1873).

Разработка теории электромагнетизма — важнейшая из широкого круга проблем (включая проблемы кинетической теории теплоты, динамики, астрофизики, цветового зрения и др.), которые получили первоклассное решение в трудах Максвелла. Ученым были также сконструированы и построены различные приборы и экспериментальное оборудование. Коллекция максвелловских приборов хранится сейчас в Кавендишской лаборатории. Максвеллом были подготовлены к печати и в 1879 г. изданы рукописи по электричеству Г. Кавендиша (1731—1810), который при жизни их не опубликовал.

[2] Здесь приводятся отрывки из имеющегося в этой работе «Введения».

[3] Таково впервые данное Максвеллом определение понятия электромагнитного поля. В настоящее время электромагнитное поле определяется как особая форма материи, посредством которой осуществляется взаимодействие электрически заряженных частиц.

[4] Речь идет об уравнениях электромагнитного поля, впервые установленных Максвеллом.

[5] В приводимой ниже части статьи Максвелл рассматривает доводы сторонников непосредственного действия на расстоянии, говорит об открытиях в физике, сделанных в рамках этой теории, и затем переходит к методу изучения электрических и магнитных явлений Фарадеем.

[6] Vis a tergo — (лат.) толчок сзади.

[7] 1 унция = 28,35 г.

[8] В месте контакта свет испытывает отражение на границе стекло — воздух одной линзы и на границе воздух — стекло второй линзы. Во втором случае происходит изменение фазы колебаний в световой волне на π. Интерферируя, отраженные волны гасят друг друга. Поэтому центральное пятно получается черным.

[9] Согласно Декарту, планеты удерживаются в своем движении около Солнца за счет действия на них вихрей, которые возникают в тонкой среде, заполняющей все межпланетное пространство.

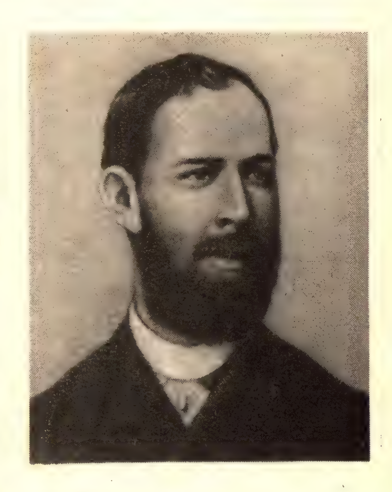
[10] «Principia» — (лат.) «Начала» (имеется в виду работа Ньютона «Математические начала натуральной философии»).

[11] *Пуассон Симеон Дени* (1781—1840) — французский механик, математик и физик.

[12] Максвеллом приводится отрывок из работы Фарадея «Экспериментальные исследования по электричеству».

ГЕРЦ[1]

Когда Максвелл опубликовал свои теоретические работы по теории электромагнитного поля, в которых содержалось предсказание существования электромагнитных волн, то далеко не сразу физики поверили в справедливость этой теории. Большинство физиков продолжало разделять теорию дальнодействия. Для того чтобы теория Максвелла стала общепризнанной, она требовала экспериментального доказательства.



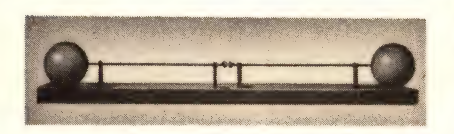
Генрих Рудольф Герц

Такое доказательство было получено лишь в 1888 г., когда знаменитый немецкий физик Г. Герц впервые обнаружил в эксперименте электромагнитные волны. Опыты Герца подтвердили, что скорость электромагнитных волн равна скорости света и что эти волны обла-

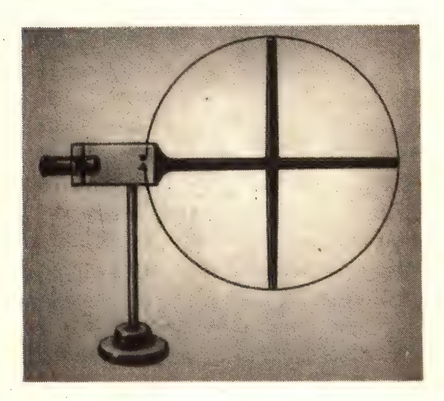
дают также другими свойствами света. Интересно отметить, что первоначально Герц не был уверен в правильности теории Максвелла и пришел к выводу о ее правильности лишь в процессе своих экспериментальных исследований.

Из работы Г. Герца «Об электродинамических волнах в воздухе и об их отражении»[2]

Недавно я пытался доказать на опыте, что индукционное действие[3] распространяется в воздухе с конечной скоростью. Соображения, на которых базировалось это доказательство, представляются мне вполне убедительными. Однако, поскольку они выводились сравнительно сложным образом из довольно сложных фактов, постольку они могут показаться не вполне очевидными тем, кто с самого начала относится к этим рассуждениям с некоторым предубеждением. Поэтому целесообразно дополнить предыдущее доказательство рассмотрением описываемых ниже явлений, в которых волнообразное распространение индукции в воздухе делается почти непосредственно осязаемым. Кроме того, эти новые явления допускают возможность непосредственного измерения длины волны в воздухе. То обстоятельство, что эта непосредственно измеренная длина лишь очень мало отличается от косвенных измерений, произведенных ранее с тем же аппаратом, служит свидетельством, что и предыдущее доказательство в основном было правильным.



Вибратор Герца (прибор хранится в Немецком музее в г. Мюнхене)



Резонатор Герца (прибор хранится в Немецком музее в г. Мюнхене)

Произведя опыты по изучению влияния прямолинейного вибратора на некоторой вторичный проводник, я неоднократно наблюдал явления, которые, по-видимому, объяснялись отражением индукционного влияния от стен помещения. Так, например, во многих случаях удавалось наблюдать слабые искры во вторичной цепи в таких положениях, для которых это никак не могло получиться благодаря непосредственному воздействию уже из геометрических соображений симметрии, а именно главным образом вблизи твердых стен.

Особенно показательными представляются мне следующие наблюдения: изучая искры во

вторичном проводнике на больших расстояниях от первичного, где, разумеется, искры были очень слабыми, я замечал, что во многих положениях вторичной цепи искры явно усиливаются, когда же я приближался к твердой стене, то в непосредственной близости к последней они почти внезапно исчезали. Простейшим объяснением казалось мне следующее: волнообразно распространяющееся индукционное действие отражается от стен, причем отраженные волны в некоторых местах усиливают падающие, в других — ослабляют, так что благодаря интерференции обеих волн в воздухе образуются стоячие волны. По мере улучшения условий отражения явление делалось все более отчетливым, и предложенное объяснение казалось все более вероятным. Я не буду останавливаться здесь на предварительных опытах, а непосредственно перейду к описанию основных исследований.

Физическая аудитория, в которой производились эти опыты, имеет примерно 15 м длины, 14 м ширины и 6 м высоты... Чтобы придать стене свойства проводящей поверхности, на ней был укреплен цинковый лист 4 м высоты и 2 м ширины. При помощи проволок он был соединен с газопроводами и близким водопроводом, причем особое внимание уделялось тому, чтобы по возможности облегчить утечку электричества, могущего скопляться на верхнем и нижнем концах листа.

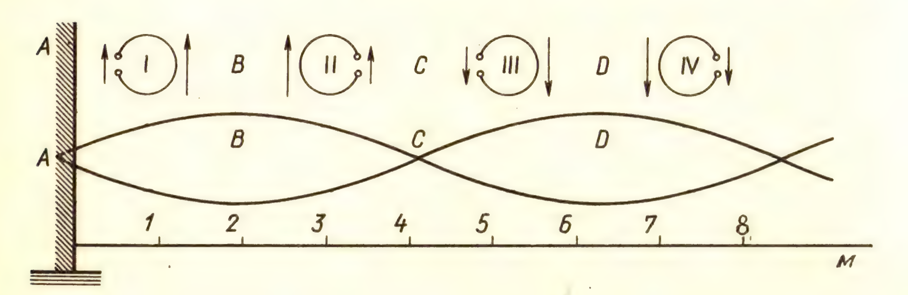
Против середины этого листа на расстоянии 13 м, т. е. в 2 м от противоположной стены, был установлен первичный провод. Это был тот же самый провод, который применялся при прежних исследованиях скорости распространения. Этот провод теперь был установлен вертикально, так что исследуемые силы колебались в вертикальном направлении. Середина первичного проводника была поднята над полом на 2,5 м. На такой же высоте производились и наблюдения, причем между столами и скамьями был оставлен проход для наблюдателя. Назовем перпендикуляр, опущенный из середины первичной цепи на отражающую поверхность, нормалью. Наши наблюдения производились вблизи нее... Вертикальная плоскость, параллельная нормали, является в наших опытах плоскостью колебаний; плоскость, перпендикулярную к нормали, назовем плоскостью волн.

Вторичная цепь представляла собой уже использованный ранее проводник, согнутый по кругу радиуса 35 см. Он мог вращаться вокруг оси, проходящей через его середину и перпендикулярной к его плоскости. Эта ось при опытах была горизонтальна. Она была укреплена в деревянной подставке таким образом, что можно было вращать ее вместе с контуром вокруг вертикальной оси. Правда, в большинстве опытов проводник, закрепленный в деревянной подставке, можно держать в руке и устанавливать в наилучшем из различных положений. Но так как тело наблюдателя всегда оказывает некоторое влияние, то наблюдения, сделанные таким образом, необходимо контролировать потом наблю-

дениями с большого расстояния. При этом искры были достаточно сильны, чтобы их можно было заметить в затемненном помещении на расстоянии несколько метров, в светлом же помещении описываемые явления незаметны даже на близком расстоянии.

Явление, которое при этих условиях наиболее важно, заключается в следующем: мы совмещаем среднюю точку нашей вторичной цепи с нормалью, располагаем ее плоскость в плоскости колебаний и затем поворачиваем искровой промежуток сначала к отражающей стене, затем в противоположном направлении. Обычно в обоих положениях искры представляются весьма различными. Так, если мы будем производить опыт на расстоянии примерно 0,8 м от стены, искры получатся более сильными, если искровой промежуток обращен к стене. Можно отрегулировать длину искр таким образом, что при обращении искрового промежутка к стене получаются устойчивые искры, но в противоположном положении искры совершенно не наблюдаются. Если мы повторим опыт на расстоянии 3 м от стены, то найдем обратное: устойчивые искры получатся при повороте искрового промежутка от стены, а отсутствие искр — при повороте к стене. Если теперь удалиться от стены на 5,5 м, то явление снова обернется: искры будут получаться на стороне, обращенной к стене, но исчезнут на другой стороне. Наконец, на расстоянии 8 м от стены мы снова будем наблюдать обратную картину: искры получаются более сильными на стороне, удаленной от стены, но различие делается менее отчетливым. В дальнейшем обращения явления не происходит, так как вблизи первичной цепи оно маскируется сильным влиянием первичных колебаний и усложненной картиной поля вблизи первичной цепи. На рисунке в местах I, II, III и IV, вторичная цепь изображена в положениях, соответствующих наиболее сильному образованию искр. Переменный характер состояния пространства отчетливо выявляется на этом рисунке[4]...

Установим теперь искровой промежуток в одном из последних положений[5] и будем медленно удаляться от стены. Мы заметим, что в непосредственной близости к проводящей металлической поверхности искры отсутствуют, уже на очень небольших расстояниях от нее они появляются, в дальнейшем интенсивность их быстро



возрастает, достигая в точке *B* довольно большого значения; далее интенсивность искр падает. В точке *C* они опять делаются чрезвычайно слабыми, а при дальнейшем перемещении снова возрастают. Однако следующее исчезновение искр не наблюдается, но искры непрерывно усиливаются, благодаря чрезмерному приближению к первичной цепи. Если бы мы изобразили интенсивность искр на участке *AD* в виде кривой, с учетом положительного и отрицательного знаков, то мы получили бы почти непосредственно уже рассмотренную сплошную кривую[5].

Из доклада Г. Герца «О соотношениях между светом и электричеством»[6]

Если вы дадите физику некоторое количество камертонов и резонаторов и потребуете, чтобы он доказал вам конечность скорости распространения звука, то даже в ограниченном пространстве комнаты он не встретит никаких затруднений. Где-либо в комнате он установит камертон и в различных местах вокруг него будет вслушиваться с помощью резонатора, обращая внимание на силу звука. Он констатирует, что последняя становится в отдельных точках весьма слабой; он найдет причину этого в том, что каждое колебание уничтожается здесь другим колебанием, вышедшим позднее, но достигшим той же точки по более короткому пути. Если, однако, более короткий путь требует меньшего времени, чем более длинный, то распространение происходит с конечной скоростью. Поставленная задача решена. Но наш акустик покажет нам сверх того, что места тихого звука повторяются периодически на одинаковых расстояниях; он измерит отсюда длину волны и, если он знает период камертона, получит отсюда же и скорость звука. В точности то же, и не что иное, изучаем мы с помощью наших электрических колебаний. Вместо камертона мы ставим электрически колеблющийся проводник. Вместо резонатора мы берем наш прерванный искровым промежутком провод, который мы тоже называем электрическим резонатором. Мы замечаем, что в отдельных положениях в пространстве он дает искры, а в других — не дает; мы видим, что мертвые зоны следуют друг за другом периодически по определенному закону, а тем самым доказана конечная скорость распространения и длина волны сделалась измеримой. Ставится вопрос — являются ли обнаруженные волны продольными или поперечными. Мы придаем нашему проводу два различных положения в одном и том же месте волны; при одном из них он откликается, при другом нет. Ничего больше не требуется, вопрос решен, волны являются поперечными. Спрашивается, какова их скорость. Мы делим измеренную длину волны на вычисленный период колебаний и находим скорость, близкую к скорости света. Если вызывает сомнение правильность вычисления, то у нас

имеется и другой путь. Скорость электрических волн в проводах тоже чрезвычайно велика, и скорость наших волн в воздухе мы можем непосредственно сравнить с ней. Но скорость электрических волн в проводах уже давно определена путем прямого измерения. Это оказалось возможным потому, что эти волны пробегают расстояния во много километров. Таким образом, мы косвенно получаем чисто экспериментальное определение и нашей скорости. Если результат и оказывается грубым, то во всяком случае он не противоречит уже имеющемуся.

Все эти опыты очень просты в принципе, но тем не менее они влекут за собой важнейшие следствия. Они рушат всякую теорию, которая считает, что электрические силы перепрыгивают пространство мгновенно. Они означают блестящую победу теории Максвелла. Последняя уже не связывает далекие друг от друга явления природы. Насколько маловероятным казалось ранее ее воззрение на сущность света, настолько трудно теперь не разделить это воззрение. Итак, мы у цели. Но здесь можно, пожалуй, обойтись даже без содействия теории. Наши опыты сами неуклонно поднимали нас на высоту того горного прохода, который соединяет, согласно теории, область света с областью электричества. Остается пройти несколько шагов дальше и исследовать спуск в область уже изученной оптики. Исключить теорию будет при этом не лишним. Существует много любителей природы, которых интересует сущность света, которым доступно понимание простых опытов, но для которых при всем том теория Максвелла является книгой за семью печатями. Да и экономия науки требует отказа от обходных путей там, где возможен прямой. Если с помощью электрических волн мы сможем непосредственно констатировать световые явления, то нам не понадобится никакая теория в качестве посредника; родство выявится из самих опытов. Такие опыты действительно возможны. Мы помещаем проводник, который возбуждает колебания, в фокальной линии очень большого вогнутого зеркала. Благодаря этому волны собираются вместе и уходят от зеркала в виде остро направленного луча. Конечно, мы не можем этот луч ни непосредственно видеть, ни ощущать; его действие проявляется тем, что он вызывает искры в проводниках, на которые он падает. Он становится видимым для нашего глаза лишь тогда, когда последний вооружается одним из наших резонаторов; в остальном это настоящий световой луч. Вращением зеркала мы можем посылать его в различных направлениях; исследуя путь этого луча, мы можем убедиться в его прямолинейном распространении. Если мы поставим на его пути проводящие тела, то они не позволят ему пройти, отбросят тень. При этом независимо от того, уничтожают ли они луч полностью или нет, они отбрасывают его назад; мы можем проследить ход отраженного луча и убедиться, что законы его отражения суть законы отражения света. Мы можем и преломлять наш луч тем же путем, что и свет. Для того чтобы заставить преломляться све-

товой луч, мы пропускаем его через призму, в результате чего он отклоняется от своего прямого пути. Так же мы поступаем и здесь и с тем же результатом. Соответственно размерам волн и луча мы должны только взять очень большую призму, сделав последнюю из какого-либо дешевого материала, например из смолы или асфальта. И, наконец, мы можем получить с нашим лучом даже такие явления, которые до сих пор наблюдали исключительно в свете,— поляризационные явления; вводя на пути луча соответствующим образом сконструированную проволочную решетку, мы можем зажечь или потушить искры в нашем резонаторе в соответствии с точно такими же геометрическими закономерностями, каким следует просветление или затемнение поля зрения поляризационного аппарата при введении кристаллической пластинки.

Таковы опыты. При их проведении мы уже целиком и полностью находимся в области учения о свете. Когда мы составляем план этих опытов, когда мы описываем их, мы мыслим уже не электрически, а оптически. Мы уже не видим токов, текущих в проводниках, и накапливающихся зарядов. Мы видим лишь волны в воздухе, видим, как они перекрещиваются, как они расходятся, складываются, взаимно усиливаются и ослабляются. Выйдя из области чисто электрических явлений, мы шаг за шагом пришли к явлениям чисто оптическим. Горный перевал перейден, дорога опускается и вновь выравнивается. Связь между светом и электричеством, которую теория предчувствовала, предугадывала, предвидела, установлена,— установлена вразумительно и понятно для здравого смысла.

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Генрих Рудольф Герц* (1857—1894) — немецкий физик, автор важнейших работ по электродинамике. Герц родился в Гамбурге в семье адвоката. Обучаясь в гимназии, Герц проявил интерес к технике, эксперименту. Готовясь стать инженером, он учился в Высшей технической школе в Дрездене и потом в Мюнхенском университете. Здесь он сделал окончательный выбор — решил заниматься физикой, и перешел в Берлинский университет. В то время там работали выдающиеся немецкие физики Г. Гельмгольц и Г. Кирхгоф (1824—1887). В университете Герц начал вести научные исследования. За успешно выполненную экспериментальную работу, тема которой была ему предложена Гельмгольцем, он удостаивается золотой медали Берлинского университета. За другое исследование, которое имело теоретический характер, Герцу присваивают степень доктора с отличием, и в течение трех лет он работает ассистентом Гельмгольца. Герц, будучи уже профессором Высшей технической школы в г. Карлсруэ (1885—1889), поставил свои знаменитые опыты по изучению высокочастотных электромагнитных колебаний, что и привело его к обнаружению электромагнитных волн. Экспериментальное изучение их Герц закончил в Боннском университете, в котором он с 1889 г. был профессором экспериментальной физики. Начало широкому использованию «волн Герца» для радиосвязи положило изобре-

тение радио Поповым. Сам Герц сомневался в том, что его открытие может иметь применение в технике, так как мощность волн в его опытах и расстояния, на которых они обнаруживались, были невелики.

Герцу принадлежит целый ряд других работ по физике. Так, он обнаружил, что если на электроды, главным образом, катод резонатора падает свет от искры в вибраторе, то длина искры в резонаторе становится больше. Герц изучил и описал это явление (1886—1887). Так было открыто явление, которое получило впоследствии название внешнего фотоэффекта.

Именем Герца названа единица частоты колебаний — герц.

[2] Работа опубликована в 1888 г.

[3] «Индукционным влиянием» или «индукционным действием» Герц называет действие, оказываемое разрядом в вибраторе на другой проводник и приводящее к возникновению разряда в последнем резонаторе.

[4] На рисунке изображен график зависимости значения «вертикальной электрической силы» (т. е. вектора $\vec{E}$) в стоячей электромагнитной волне от расстояния до стены. Этот рисунок Герца здесь воспроизводится не полностью: опущены детали, не относящиеся непосредственно к цитируемому отрывку.

[5] Виток вторичной цепи (резонатор) располагался в «плоскости волн», причем так, чтобы горизонтальная плоскость, содержащая «нормаль», т. е. перпендикуляр, опущенный из середины первичной цепи на отражающую поверхность (противоположную стену, на которой крепился цинковый лист), проходила через искровой промежуток.

[6] Доклад был прочитан Герцем в 1889 г.

ПОПОВ[1]

После обнаружения Г. Герцем электромагнитных волн возникла идея применить их для связи. Эту идею впервые осуществил выдающийся русский ученый А. С. Попов. Уже в 1895 г. Попов построил первый радиоприемник, который был использован для приема и регистрирования сигналов от различных источников, в частности от электрических разрядов в атмосфере. Одновременно он высказал предположение, что его прибор при дальнейшем усовершенствовании может быть применен для связи. В следующем году Попов эту задачу решил. Наряду с приемником он построил первый радиопередатчик и демонстрировал первую передачу радиосигнала на расстояние до 250 м.



Александр Степанович Попов

Из статьи А. С. Попова «Прибор для обнаружения и регистрирования электрических колебаний»

Содержание настоящей статьи в главной своей части было предметом сообщения в апрельском собрании Физического отделения нашего общества...

В начале текущего года я занялся воспроизведением некоторых опытов... над электрическими колебаниями с целью пользоваться ими на лекциях, но первые же попытки показали мне, что явление, лежащее в основе этих опытов, — изменение сопротивления металлических опилок под влиянием электрических колебаний — довольно непостоянно; чтобы овладеть явлением, пришлось перепробовать несколько комбинаций. В результате я пришел к устройству прибора, служащего для объективных наблюдений электрических колебаний, пригодного как для лекционных целей, так и для регистрирования электрических пертурбаций, происходящих в атмосфере...

В 1891 г. Бранли[2] открыл, что... металлические порошки обладают способностью мгновенно изменять свое сопротивление электрическому току, если вблизи них произойдет разряд электрофорной машины или индукционной катушки...

Механические сотрясения возвращают снова опилкам прежнее состояние, характеризуемое большим сопротивлением. Действие разряда опять может уменьшить его, и снова встряхиванием можно получить прежние величины сопротивления...

Прежде всего я пожелал дать такую форму прибору с опилками, чтобы иметь возможное постоянство чувствительности...

Наиболее удачная форма по значительной чувствительности, при достаточном постоянстве, выполнена следующим образом. Внутри стеклянной трубки, на ее стенках, приклеены две полоски тонкой листовой платины *AB* и *CD* почти во всю длину трубки (рис. 1). Одна полоска выведена на внешнюю поверхность с одного конца трубки, другая — с противоположного конца. Полоски платины своими краями лежат на расстоянии около 2 мм при ширине 8 мм; внутренние концы полосок *B* и *C* не доходят до пробок, закрывающих трубку, чтобы порошок, в ней помещенный, не мог, набившись под пробку, образовать неразрушаемых сотрясениями проводящих нитей, как то случилось в некоторых моделях. Длина всей трубки достаточна в 6—8 см при диаметре около 1 см...

Трубка при своем действии располагается горизонтально, так что полоски лежат в нижней ее половине и металлический порошок вполне покрывает их. Однако лучшее действие получается в том случае, если трубка наполнена не более чем на половину.

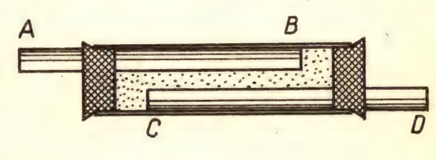


Рис. 1

Во всех опытах как на величину, так и на постоянство чувствительности влияют размеры зерен металлического порошка и вещество его. Наилучшие результаты получаются при употреблении железного порошка...

Схема (рис. 2) показывает расположение частей прибора. Трубка с опилками подвешена горизонтально между зажимами *M* и *N* на легкой часовой пружине, которая для большей эластичности согнута со стороны одного зажима зигзагом. Над трубкой расположен звонок так, чтобы при своем действии он мог давать легкие удары молоточком посередине трубки, защищенной от разбивания резиновым кольцом. Удобнее всего трубку и звонок укрепить на общей вертикальной дощечке. Реле может быть помещено как угодно.

Действует прибор следующим образом. Ток батареи в 4—5 В постоянно циркулирует от зажима *P* и платиновой пластинки *A*, далее через порошок, содержащийся в трубке, к другой пластинке *B* и по обмотке электромагнита реле обратно к батарее. Сила этого тока недостаточна для притягивания якоря реле, но если трубка *AB* подвергнется действию электрического колебания, то сопротивление мгновенно уменьшится, и ток увеличится на столько, что якорь реле притянется. В этот момент цепь, идущая от батареи к звонку, прерванная в точке *C*, замкнется, и звонок начнет действовать, но тотчас же сотрясения трубки опять уменьшат ее проводимость, и реле разомкнет цепь звонка. В моем приборе сопротивление опилок после сильного встряхивания бывает около 100 000 Ом, а реле, имея сопротивление около 250 Ом, притягивает якорь при токах от 5 до 10 мА (пределы регулировки), т. е. когда сопротивление всей цепи падает ниже тысячи омов. На одиночное колебание прибор отвечает коротким звонком; непрерывно действующие разряды спирали отзываются довольно частыми, через приблизительно равные промежутки следующими звонками...

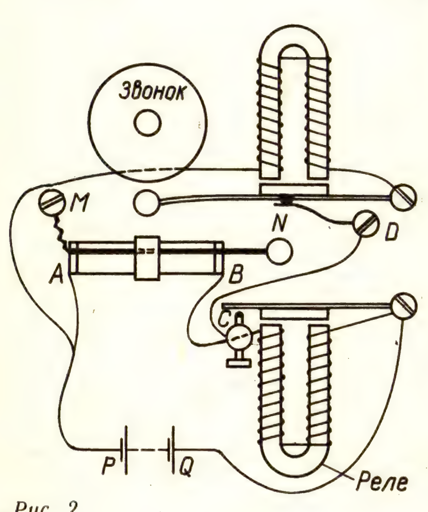
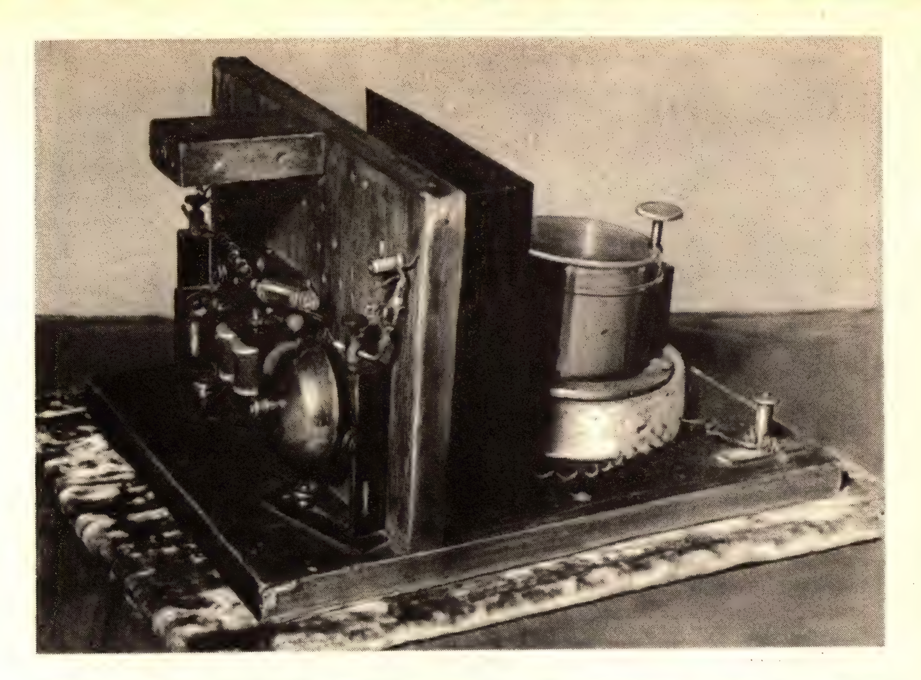


Рис. 2

Прибор... может служить для различных лекционных опытов с электрическими колебаниями...

Другое применение прибора, которое может дать более интересные результаты, будет его способность отмечать электрические колебания, происходящие в проводнике, связанном с точкой *A* или *B* (на схеме), в том случае, когда этот проводник подвергается действию электромагнитных пертурба-



Радиоприемник А. С. Попова (хранится в Центральном музее связи им. А. С. Попова в Ленинграде)

ций, происходящих в атмосфере. Для этого достаточно прибор, защищенный от всяких других действий, связать с воздушным проводом, проложенным вдали от телеграфов и телефонов, или же со стержнем громоотвода. Всякое колебание, переходящее за известный предел по своей интенсивности, может быть отмечено прибором и даже зарегистрировано, так как всякое замыкание контакта реле на схеме в точке *C* может привести в действие, кроме звонка, еще электромагнитный отметчик. Для этого достаточно один конец его обмотки присоединить между точками *C* и *D*, а другой к зажиму батареи *P*, т. е. включить электромагнит в цепь параллельно звонку...

В заключение могу выразить надежду, что мой прибор, при дальнейшем усовершенствовании его, может быть применен к передаче сигналов на расстояния при помощи быстрых электрических колебаний, как только будет найден источник таких колебаний, обладающий достаточной энергией.

Кронштадт, декабрь 1895 г.

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Александр Степанович Попов* (1859—1906) — русский физик и электротехник, изобретатель радио. Родился в поселке Турьинские рудники (ныне г. Краснотурьинск Свердловской области). В детстве увлекался постройкой различных движущихся механизмов — моделей водяных колес, мельничек и т. д. Определенный родителями в духовную семинарию, он рано оставил ее и самостоятельно подготовился к сдаче экзаменов на аттестат зрелости. В 1877 г. поступил на физико-математический факультет Петербургского университета. С первых студенческих дней ему пришлось заботиться о заработке: он репетировал гимназистов, делал переводы с иностранных языков. Одновременно начал принимать участие в работе Физической лаборатории университета, стал прекрасным экспериментатором, увлекся электротехникой.

После окончания университета работал в обществе «Электротехника», а затем был приглашен преподавать физику и электротехнику в военных учебных заведениях.

С 1901 г. Попов стал заведовать кафедрой физики Петербургского электротехнического института.

После опубликования в 1888 г. работ Г. Герца по получению электромагнитных волн начал изучать электромагнитные явления. Хорошо понимая практическую важность использования беспроволочной сигнализации (в частности, для морского флота), Попов занялся конструированием чувствительного индикатора электромагнитных волн, излучаемых вибратором Герца.

В качестве индикатора он использовал когерер — устройство, предложенное французским физиком Э. Бранли. После кропотливых экспериментов и усовершенствований Попов сделал этот индикатор достаточно чувствительным.

Использовав когерер, реле, электрическую батарею и электрический звонок, Попов создал «прибор для обнаружения и регистрирования электрических колебаний» — радиоприемник. В качестве передатчика он применил вибратор Герца.

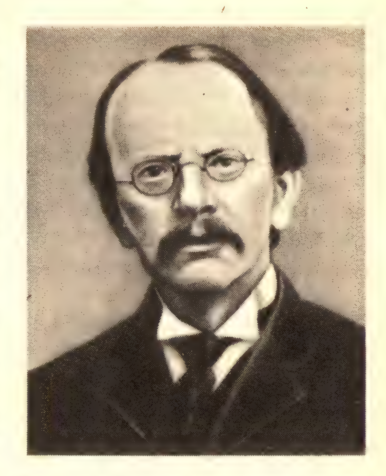
25 апреля (7 мая по новому стилю) 1895 г. Попов сделал научный доклад об изобретении им системы связи без проводов и продемонстрировал ее работу. Усовершенствованные приборы Попова для беспроволочной телеграфии получили первое практическое применение в русском флоте. Они были применены, в частности, для связи во время работ по снятию севшего на камни русского броненосца у острова Гогланд (Финский залив) и при спасении рыбаков, унесенных на льдине в море.

Работая в трудных условиях царского режима, без материальной поддержки, Попов не принял ни одного из заманчивых предложений зарубежных фирм продать им патенты на свои изобретения.

Признанием заслуг Попова явилось постановление Совета Народных Комиссаров в ознаменование 50-летия со дня изобретения радио; в этом постановлении был установлен День радио, отмечаемый ежегодно 7 мая. Академией наук СССР установлена золотая медаль им. А. С. Попова, которой награждаются ученые за выдающиеся достижения в области радиофизики.

[2] *Бранли Эдуард* (1844—1940) — французский физик, член Парижской академии наук. Изобрел когерер в 1890 г.

ТОМСОН[1]



Джозеф Джон Томсон

Одним из важнейших открытий конца XIX в. было открытие электрона. До этого среди ученых было довольно широко распространено мнение, что наименьшими частицами вещества являются атомы, не имеющие внутреннего строения. Во второй половине XIX в. были открыты катодные лучи, природа которых поначалу оставалась неизвестной. Высказывались различные гипотезы об их природе и, в частности, точка зрения, согласно которой эти лучи являются потоком заряженных частиц. Но что это за частицы — никто не знал. Знаменитый английский ученый Дж. Дж. Томсон, исследовав отклонение катодных лучей в электрических и магнитных полях, пришел к выводу, что эти лучи являются потоком частиц гораздо более мелких, чем атомы водорода, которые в то время считались наименьшими. Масса этих частиц оказалась меньше массы атома водорода примерно в 2000 раз. К тому же было установлено, что они несут отрицательный электрический заряд. Так был открыт электрон.

Из статьи Дж. Дж. Томсона «Катодные лучи»[2]

Эксперименты, обсуждаемые в этой работе, были предприняты для получения сведений о природе катодных лучей. Существуют самые разнообразные мнения об этих лучах. Согласно почти единодушному мнению немецких физиков, они вызваны каким-то процессом в эфире[3], так как в однородном магнитном поле их движение круговое, а не прямолинейное...; другая точка зрения об этих лучах полностью отлична от эфирной: лучи всецело материальны, и отмечают траектории частичек вещества, заряженных отрицательным электричеством. С первого взгляда может показаться, что не трудно определить разницу между этими точками зрения; однако опыт показывает, что это не так, ибо среди физиков, которые глубоко изучили этот предмет, можно найти сторонников и той и другой теории.

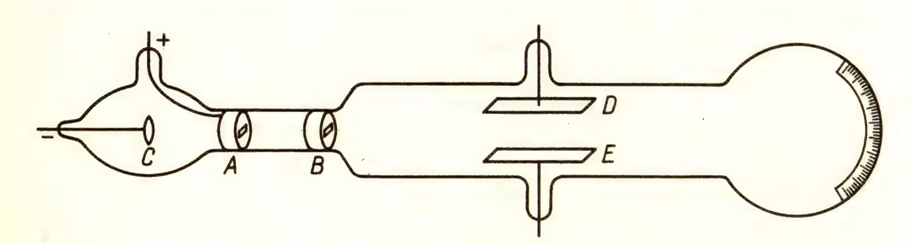
В целях научного исследования большое преимущество над эфирной теорией имеет теория электрически заряженных частиц...

Чтобы проверить некоторые следствия теории электрически заряженных частиц, были проведены следующие эксперименты...

Отклонение катодных лучей электростатическим полем

Возражение, обычно возникающее против точки зрения, что катодные лучи являются отрицательно заряженными частицами, основано на том, что до настоящего времени не наблюдалось отклонения лучей под действием маленькой электростатической силы, хотя когда эти лучи проходят рядом с электродами, соединенными с источниками большой разности потенциалов, такими, как индукционные катушки или электрические машины, они отклоняются. Отклонение в этом случае истолковывается сторонниками эфирной теории как результат разряда между электродами, а не действия электростатического поля. Герц заставил лучи пройти между двумя параллельными металлическими пластинками, помещенными внутри разрядной трубки, но обнаружил, что они не отклонились, когда пластины были соединены с батареей гальванических элементов. Повторив этот эксперимент, я сначала получил тот же результат. Но последующие эксперименты показали, что отсутствие отклонения вызвано проводимостью, которую разреженный газ получил под действием катодных лучей. Измерив эту проводимость, я обнаружил, что она очень быстро уменьшалась по мере того как разрежение увеличивалось. Казалось, что, повторяя опыт Герца при очень высокой разреженности, можно будет обнаружить отклонение катодных лучей под действием электростатической силы.

Используемый прибор схематично показан на рисунке ... Лучи от катода *C* проходят через щель в аноде *A*, который представляет собой металлическую пробку, плотно вставленную в трубку и связанную с землей. После прохождения через вторую щель в другой заземленной металлической пробке *B* лучи проходят между двумя параллельными алюминиевыми пластинами, имеющими около 5 см в длину и 2 см в ширину; пластины расположены на расстоянии 1,5 см друг от друга. Затем лучи попадают на стенку трубки и дают узкое хорошо очерченное пятно. Шкала, помещенная на внешней стороне трубки, служит для измерения отклонения этого пятна. При высокой разреженности луч отклонялся, когда алюминиевые пластины были соединены с клеммами небольшой батареи аккумуляторов. Лучи отклонялись вниз, когда верхняя пластинка была соединена с отрицательным полюсом батареи, а нижняя — с положительным, и отклонялись вверх, ког-



да верхняя пластинка соединялась с положительным полюсом, а нижняя — с отрицательным. Отклонение было пропорционально разности потенциалов между пластинками, и я уже смог обнаружить отклонение, когда разность потенциалов составляла всего 2 В. Отклонение имело место, только когда вакуум был хороший...

Магнитное отклонение катодных лучей в разных газах

Так как катодные лучи несут заряд отрицательного электричества, они отклоняются электростатической силой, как если бы они были отрицательно наэлектризованы, и на них действует магнитная сила таким образом, как эта сила действовала бы на отрицательно наэлектризованное тело, движущееся по траектории этих лучей. Я не могу не прийти к заключению, что они являются зарядами отрицательного электричества, которое несут частицы вещества. Возникает следующий вопрос: что это за частицы — атомы ли они или молекулы, или еще более мелкие частицы вещества? Чтобы пролить свет на этот вопрос, я провел серию измерений отношения массы этих частиц к их заряду. С этой целью я использовал два независимых метода. Первый из них состоит в следующем. Рассмотрим пучок однородных катодных лучей. Пусть m — масса каждой частицы, e — ее разряд, N — количество частиц, проходящих через поперечное сечение луча в определенное время. Количество электричества Q, которое несут частицы, определяется формулой

$$Ne = Q\,.$$

Мы сможем измерить Q, если получим катодные лучи внутри сосуда, соединенного с электрометром. Когда эти лучи ударяются о твердое тело, температура этого тела повышается: кинетическая энергия движущихся частиц превращается в тепло. Если мы предположим, что в тепло переходит вся энергия частиц, и измерим вызванное ударом этих лучей увеличение температуры тела известной теплоемкости, мы сможем определить кинетическую энергию частиц W:

$$\frac{1}{2}Nmv^2 = W,$$

где v — скорость частиц. Если ρ — радиус кривизны траектории этих лучей в однородном магнитном поле с индукцией B, то можно записать[4]:

$$\frac{mv}{e} = B\rho = I,$$

где через I обозначено для краткости произведение $B\rho$. Из этих уравнений мы получаем:

$$\frac{1}{2}\frac{m}{e}v^2 = \frac{W}{Q}, \qquad v = \frac{2W}{QI}, \qquad \frac{m}{e} = \frac{I^2Q}{2W}.$$

Таким образом, зная величины Q, W и I, мы можем найти v и $\frac{m}{e}$.

Результаты серии измерений с этими трубками даны в следующей таблице[5].

Газ	W/Q, $\times 10^3$ Дж/Кл	I, $\times 10^{-6}$ Вб/м	m/e, $\times 10^{-11}$ кг/Кл	v, $\times 10^7$ м/с
Воздух	4,6	230	0,57	4
Воздух	18	350	0,34	10
Воздух	6,1	230	0,43	5,4
Водород	60	205	0,35	6
Водород	21	460	0,5	9,2
Углекислый газ	8,4	260	0,4	7,5
Углекислый газ	14,7	340	0,4	8,5

Из этой таблицы мы видим, что величина $\frac{m}{e}$ не зависит от природы газа и что ее значение 10^{-11} очень мало по сравнению с наименьшим известным значением 10^{-8}, полученным для водородного иона в электролизе.

Таким образом, для носителей электричества в катодных лучах величина $\frac{m}{e}$ очень мала по сравнению со значением этой величины для носителей заряда в электролизе. Малость величины $\frac{m}{e}$ может быть вызвана малым значением массы m или большим значением заряда e...

Если в очень сильном электрическом поле вблизи катода молекулы газа расщепляются не на обычные химические атомы, а на исконные атомы, которые мы для краткости будем называть корпускулами, и если эти корпускулы заряжены электричеством и выбрасываются из катода при помощи электрического поля, то они будут вести себя точно так же, как катодные лучи...

Таким образом, с этой точки зрения в катодных лучах мы имеем вещество в новом состоянии, в котором деление вещества идет намного дальше, чем в обычном газовом состоянии; это состояние, в котором все вещество, полученное от разных источников, таких, как водород, углерод и т. д., есть вещество одного и того же вида. Это вещество, из которого построены все химические элементы.

Количество вещества, полученное посредством диссоциации в катоде, так мало, что почти исключается возможность какого-либо прямого химического исследования свойств этого вещества.

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Джозеф Джон Томсон* (1856—1940) — английский физик. Родился в Читем-Хилле, расположенном близ г. Манчестера, в семье владельца антикварного книжного магазина.

После окончания школы Томсон поступил (ему тогда не было еще 15 лет) в Оуэнс-колледж в Манчестере. Закончив его, он получил предуниверситетское образование и решил стать физиком. В 1880 г. Томсон блестяще закончил Тринити-колледж Кембриджского университета и начал работать в Кавендишской лаборатории, руководимой известным английским физиком Дж. У. Рэлеем (1842—1919). Первые научные работы Томсона посвящены вопросам электромагнитной теории света, теории вихрей, теории движения заряженных тел. Томсоном впервые (1881 г.) был сделан вывод об увеличении инертной массы движущегося заряженного тела.

В 1884 г. Томсон стал профессором физики Кембриджского университета и руководителем Кавендишской лаборатории (сменив на этих постах Рэлея), членом Лондонского королевского общества. В 1918 г. Томсон стал руководителем Тринити-колледжа и передал в 1919 г. руководство Кавендишской лаборатории Э. Резерфорду.

Одной из основных тем, над которыми работала лаборатория, руководимая Томсоном, было прохождение электрического тока через газы. Наиболее широким фронтом эти работы велись в 1895—1900 гг. В 1897 г. Томсон открыл электрон, за что ему была присуждена Нобелевская премия (1906 г.).

В других работах Томсон дал объяснение возникновению рентгеновских лучей, вызываемых торможением электронов, предложил одну из первых известных моделей атома, положившую начало развитию теории атома, разработал метод измерений отношения массы к заряду для заряженных частиц и др.

Руководимая Томсоном Кавендишская лаборатория была научной школой для ряда выдающихся физиков: Резерфорда, Бора, Ланжевена и др. В работах этой лаборатории получили начало такие методы экспериментального исследования, как масс-спектроскопия и регистрация элементарных частиц с помощью камеры Вильсона (Ч. Вильсон ученик и коллега Дж. Дж. Томсона).

Научная деятельность Томсона совпала с тем периодом в развитии физики, когда она переживала революцию на рубеже XIX—XX вв. В это время были созданы такие современные физические теории, как теория относительности и квантовая механика. Томсон своими исследованиями объективно способствовал наступлению этой революции в физике, но он до конца оставался на позициях классической физики. Томсон был членом академий наук многих стран и, в частности, Академии наук СССР (с 1925 г.).

[2] Работа опубликована в 1897 г.

[3] Эфиром в физике того времени называлась гипотетическая среда, заполняющая все пространство и пронизывающая все тела. Распространение электромагнитных волн объяснялось скрытыми движениями, происходящими в этой среде.

Однако введение в физику представления об эфире привело к возникновению ряда противоречий как при объяснении свойств самого эфира, так и при объяснении оптических (электродинамических) явлений. Решение возникших трудностей было дано в теории относительности. В результате в науке отказались от гипотезы об эфире.

[4] Расчет дан в единицах СИ.

[5] Таблица приведена с сокращениями.

МИЛЛИКЕН[1]



Роберт Эндрус Милликен

Как мы видели выше, английский физик Дж. Дж. Томсон установил существование малых частиц, названных впоследствии электронами. Однако Дж. Дж. Томсон определил только отношение заряда электрона к массе. Для более полного выявления природы электрона необходимо было определить каждую из этих величин. Эта трудная задача была выполнена американским физиком Р. Э. Милликеном, который в опытах, потребовавших высокой точности, сумел определить заряд электрона. Он установил, наблюдая за мельчайшими капельками масла, что они могут приобретать или терять заряды только определенными порциями. Отсюда следует, что изменение заряда какого-либо тела всегда является кратным определенной величине. Следовательно, можно было заключить, что существует наименьший электрический заряд — «атом электричества».

Милликен проделывал свои опыты в течение нескольких лет, начиная с 1909 г. Эти измерения повторялись многими физиками, например русским физиком А. В. Иоффе, который несколько изменив постановку опыта Милликена, получил данные, подтвердившие результаты Милликена.

Ниже приводятся выдержки из статьи Милликена, опубликованной в 1912 г., в которой изложены его экспериментальные исследования по измерению заряда электрона.

Из статьи Р. Э. Милликена «Новые доказательства кинетической теории материи и атомистической теории электричества»

...Около 1900 г. был сделан большой шаг вперед: атомистическую гипотезу стали применять не только к растворам, но и к металлическим проводникам, и причину электрических токов стали видеть в перенесении по проводнику раздельных единиц электричества, получивших название электронов, причем эти единицы передаются от атома к атому или проталкиваются каким-либо иным путем через промежутки между атомами. Этот взгляд, знаменовавший собой возврат к взглядам Франклина[2], нашел новое подтверждение в следующем факте: в трубках с разреженным воздухом, типа трубок для *X*-лучей[3], оказалось возможным получить от всякого рода вещества мельчайшие тельца, заряженные

отрицательным электричеством, которые при всех условиях вели себя совершенно одинаково в электрическом и магнитном поле и обладали массой приблизительно в 1/1760 массы атомов водорода, мельчайшего из всех известных нам атомов. Правда, не было прямых доказательств того, что заряды этих телец все равны между собою, так как не было еще выработано метода исследовать их в отдельности; тем не менее, еще в 1899 г. Таунсенд[4] из Оксфорда с достаточной убедительностью показал, что средняя величина заряда этих электронов равна заряду атома водорода при электролизе; в то же время сэр Дж. Дж. Томсон нашел способ грубого определения абсолютной величины этого среднего заряда. Метод этот был усовершенствован в 1902 г. Г. А. Вильсоном[5] и лет пять спустя послужил фактически исходной точкой работ, в результате которых путем ряда естественных шагов возникли опыты, давшие возможность улавливать и точно измерять отдельные обособленные электроны или желаемое число их до 150.

Представим себе две круглые пластинки *M* и *N* (рис. 1), 22 см в диаметре, находящиеся друг от друга на расстоянии 16 миллиметров. Их можно зарядить электричеством: одну — положительным, другую — отрицательным, соединив их с полюсами батареи на 10 000 В. Предположим также, что с помощью выключателя *S* пластинки по желанию могут быть моментально разряжены и таким образом лишены всех своих электрических свойств. Когда пластинки внезапно получают заряд, воздух между ними остается совершенно спокойным и свободным от каких бы то ни было конвекционных токов — результат, показывающий, что фактически все молекулы воздуха между пластинками в электрическом отношении нейтральны. Если же на воздух между этими пластинками направить пучок *X*-лучей, то некоторые из этих нейтральных воздушных молекул расщепляются *X*-лучами на заряженные электричеством части, мгновенно устремляющиеся одни — к пластинке *M*, другие — к пластинке *N*. Это убедительно показывает, что обыкновенные нейтральные молекулы воздуха состоят из электрических составных частей, другими словами, что каждая из них содержит одинаковое количество положительного и отрицательного электричества. Как ультрафиолетовые лучи,

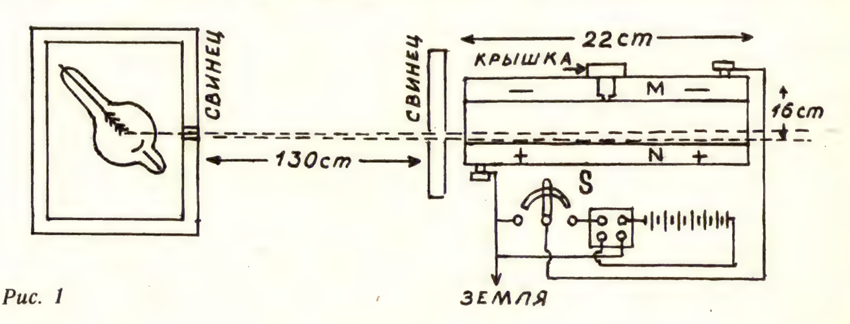


Рис. 1

так и лучи радия обладают, подобно X-лучам, аналогичной способностью ионизировать газы, и даже при отсутствии всякой внешней ионизирующей причины из 27 биллионов молекул, содержащихся в каждом кубическом сантиметре обыкновенного воздуха, от двух до двадцати расщепляются в секунду на ионы. Как мы сейчас покажем, этот процесс ионизации состоит в отщеплении от нейтральной молекулы чрезвычайно ничтожной части входящего в ее состав отрицательного электричества — электрона, так что остаток молекулы, вероятно, похож на нейтральные молекулы окружающего газа, за исключением того, что он теперь несет в себе свободный и ничем не уравновешиваемый положительный заряд, соответствующий отрицательному заряду утраченного им электрона. Вырвавшийся на свободу электрон, вероятно, скоро опять присоединяется к нейтральной молекуле, так что вскоре после разложения молекулы газ оказывается в том же состоянии, как и до разложения, исключая то, что две из его молекул, бывших прежде нейтральными, обдалают теперь электрическим зарядом: одна — положительным, другая — отрицательным. Мы не можем еще с полной достоверностью сказать, вызывается ли это разложение молекул, постоянно происходящее в обыкновенном воздухе, лучами от следов радиоактивных веществ, все время присутствующих в воздухе, или случайным самопроизвольным взрывом молекулы; впрочем, факты настойчиво говорят в пользу первого предположения. Но, каким бы способом ни образовались эти ионы, постоянное присутствие их в воздухе, в количестве от 1 до 15 на кубический миллиметр, не подлежит сомнению; нельзя также сомневаться, что именно эти атмосферные ионы обусловливают все проявления атмосферного электричества, составлявшие во все века предмет ужаса и поклонения для человека.

Задача, поставленная перед описываемым опытом, заключалась в том, чтобы уловить эти отдельные атмосферные ионы и определить характер их заряда. Сыщик для улавливания столь ничтожной по размерам вещи, очевидно, должен был сам обладать малой величиной. В качестве такого сыщика взята была капля масла, еле видная в самый сильный микроскоп. Впрочем, в описываемых опытах не было необходимости в столь сильном микроскопе, так как в достаточно ярком солнечном луче подобную капельку, несмотря на ее ничтожно малые размеры, можно заметить даже простым глазом в виде блестящей точки. Опыт производился следующим образом. Из обыкновенного пульверизатора A (рис. 2) выдувались брызги масла в свободную от пыли камеру C, и одна или несколько таких масляных капелек впускались через отверстие у p в пространство между M и N. В то время как она парила здесь, медленно опускаясь под действием силы тяжести, она освещалась мощным лучом от электрической дуги, пропускавшимся через расположенные диаметрально отверстия в эбонитовом кольце c. Наблюдалась она через третье отверстие, расположенное при выходе луча приблизи-

тельно градусов на 16 в сторону от направления его распространения... Масляная капля в короткофокусный телескоп наблюдателя представлялась в виде блестящей звезды на черном фоне. Прежде чем эта звезда достигла нижней пластинки, между пластинками *M* и *N* возбуждалось электрическое поле и она тотчас же стала снова подниматься по направлению к пластинке *M*. Объясняется это тем, что при распылении жидкости капля обычно приобретает заряд от трения: как известно, сильное трение всегда вызывает электризацию. Если этот заряд имел знак, заставляющий каплю опускаться, а не подниматься, то при включении батареи 10 000 В знаки зарядов на *M* и *N* изменялись на обратные. Когда капля находилась близко от *M*, пластинки разряжались и капле представлялась возможность снова падать под действием силы тяжести до тех пор, пока она не оказывалась совсем вплотную около *N*. Таким образом попеременно вводя или выключая электрическое поле, мы заставляем нашего сыщика, масляную каплю, прохаживаться вверх и вниз между пластинками в надежде захватить и удержать какой-нибудь неосторожный ион, попавшийся ей на пути. Когда опыт проводился в первый раз, один ион был пойман через несколько минут, и сигналом для наблюдателя об его поимке послужило изменение скорости движения капли вверх после того, как было введено электрическое поле: так как ион нес на себе электрический заряд, то его переход на каплю изменил заряд на последний, а следовательно, изменил и скорость, с какой она подталкивалась вверх по направлению к *M*. Если пластинка *M* была заряжена положительно, то сама капля, чтобы электрическое поле подталкивало ее вверх, должна была обладать отрицательным зарядом; в этом случае поимка положительного иона уменьшала этот отрицательный заряд, а следовательно, и скорость движения капли в электрическом поле, тогда как поимка отрицательного иона увеличивала отрицательный заряд, а в силу этого также и скорость в электрическом поле. Таким образом, зная знак и величину этого изменения скорости и сопоставляя его с постоянной скоростью падения под действием силы тяжести, можно было легко определить знак и точную величину заряда пойманного иона.

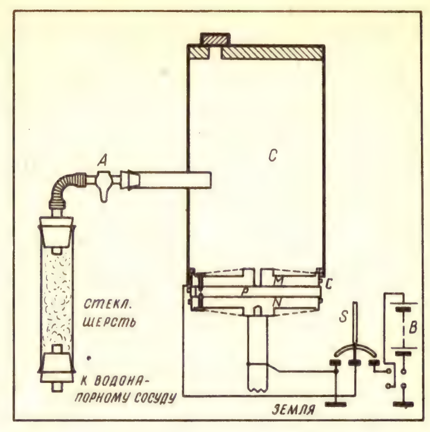


Рис. 2

Каплю можно заставлять двигаться описанным способом в течение четырех или пяти часов за один прием, и в продолже-

ние этого времени вследствие захватывания ионов она будет менять свой заряд раз двадцать или тридцать, и величину каждого из этих различных зарядов можно вычислить. Изящество и точность этих измерений и строгую непреложность, с какой атомистическая теория электричества вытекает из полученных таким образом результатов, лучше всего можно оценить по подробной записи всех элементов опыта, проделанного с какой-нибудь отдельной каплей. В столбце *G* приведены последовательно цифры, показывающие время, требовавшееся капельке, чтобы переместиться между двумя закрепленными поперечно волосками в наблюдательном телескопе, расстояние между которыми в этом случае соответствовало фактической длине падения 0,5222 см. Как видно из таблицы, все эти числа одинаковы в пределах ошибки, допустимой при измерении с помощью секундомера. В столбце *E* даны последовательно цифры, показывающие время, требовавшееся капельке, чтобы подняться вверх под действием электрического поля, возбужденного в этом случае разностью потенциалов 5051 В на пластинках *M* и *N*. Следовательно, после второго подъема капли время подъема изменилось с 12,4 до 21,8, показывая (так как в данном случае заряд капли был положителен), что из воздуха был захвачен отрицательный ион. Следующая цифра в столбце *E* 34,8 показывает, что был захвачен еще один отрицательный ион. Дальнейшая цифра 84,5 свидетельствует о поимке еще нового отрицательного иона. Этот заряд держался в течение двух экскурсий капли, после чего скорость снова вернулась к цифре 34,6, показывая, что на этот раз захвачен положительный ион, несущий совершенно точно такой же заряд, как и отрицательный ион, вызвавший перед тем обратное изменение во времени перемещения, т. е. скачок от 34,8 к 84,5.

G	*E*
13,6	12,5
13,8	12,4
13,4	21,8
13,4	34,8
13,6	84,5
13,6	85,5
13,7	34,6
13,5	34,8
13,5	16,0
13,8	34,8
13,7	34,6
13,8	21,9
13,6	
13,5	
13,4	
13,8	
13,4	
Средняя 13,595.	

Все последовательные величины заряда, какой несет на себе капля в продолжение всего опыта, можно легко вычислить, исходя из постоянной ее скорости под действием силы тяжести и из последовательных величин скорости в электрическом поле. Для определения абсолютной величины этих зарядов необходимо знать вес капли, а вычисление этого веса может дать погрешность самое большее на дробную часть какого-нибудь процента, но так как этот вес остается постоянным в течение всего опыта, то относительные величины последовательных зарядов можно найти с абсолютной уверенностью и большой точностью, даже не зная этого веса. Фактически они просто пропорциональны последовательным значениям, какие принимает сумма двух скоростей

(скорости под действием силы тяжести и скорости в электрическом поле*).

Подобным же образом заряд любого захваченного иона пропорционален изменению, вызванному в этой сумме благодаря его поимке... Если электричество атомистично по своему строению, то все различные заряды, появляющиеся при этом опыте как на ионах, так и на капле, должны быть строгими кратными элементарной единице заряда...

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Роберт Эндрус Милликен* (1868—1953) — американский физик. Милликен окончил колледж в штате Огайо. Получил докторскую степень в Колумбийском университете. В 1895—1896 гг. работал в Германии в Берлинском и Геттингенском университетах, затем с 1896 г. в Чикагском университете и других учреждениях. Милликен осуществил очень точное измерение заряда электрона с помощью разработанного им метода. Милликен провел также проверку уравнения фотоэффекта. Ему принадлежит ряд работ по спектроскопии, космическим лучам и т. д. Он является лауреатом Нобелевской премии (1923 г.).

[2] *Бенджамин Франклин* (1706—1790) — американский ученый и общественный деятель.

[3] Под *X*-лучами следует понимать рентгеновские лучи.

[4] *Джон Сили Эдвард Таунсенд* (1868—1957) — английский физик.

[5] *Гарольд Альберт Вильсон* (1874—1964) — английский физик, с 1912 г. работал в США.

---

*Дело в том, что если тела движутся медленно и равномерно через сопротивляющуюся среду, то любые две силы вызывают скорости, пропорциональные этим силам. Сила, действующая вниз и вызываемая действием силы тяжести, здесь есть mg, а сила, направленная вверх и вызываемая полем, есть $e\vec{E}$, где $\vec{E}$ обозначает напряженность поля, а e — заряд капли. Отсюда, если через v_1 обозначим скорость движения вниз под действием силы тяжести, а через v_2 скорость движения вверх, обусловленную перевесом силы электрического поля над силой тяжести, то получим:

$$\frac{v_1}{v_2}=\frac{mg}{Ee-mg}, \text{ или } e=\frac{mg}{Ev_1}(v_1+v_2).$$

IV. ОБ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СТРАНЫ

В результате ряда открытий, сделанных в теории электричества, с середины XIX в. начинается быстрое развитие электротехники. В своих воспоминаниях о беседе с К. Марксом в 1850 г. Вильгельм Либкнехт передал мнение Маркса о том, что «царствование его величества пара, перевернувшего мир в прошлом столетии, окончилось; на его место станет неизмеримо более революционная сила — электрическая искра»*.

И действительно, использование электричества приобретало все большее и большее значение в производстве. Особое значение электричества для развития нашей страны на пути строительства нового общества было указано В. И. Лениным, которому принадлежат слова *«Коммунизм — это есть Советская власть плюс электрификация всей страны»***.

Еще в трудном для молодой советской республики 1920 г. был разработан под руководством В. И. Ленина первый в нашей стране и во всей мировой практике единый общегосударственный план развития экономики — Государственный план электрификации России (ГОЭЛРО).

Письмо В. И. Ленина Г. М. Кржижановскому[1] (1920 г.)***

Глеб Максимилианович!

Статью получил и прочел[2].

Великолепно.

Нужен *ряд* таких. Тогда пустим брошюркой.

У нас не хватает как раз спецов с размахом или «с загадом».

Надо 1) примечания *пока* убрать или сократить. Их слишком много для газеты (с редактором буду говорить завтра).

2) Нельзя ли добавить *план* не технический (это, конечно,

* Либкнехт В. Из воспоминаний о Марксе. — В кн.: Воспоминания о Марксе и Энгельсе. М., 1956, с. 91.

** Ленин В. И. Полн. собр. соч., изд. 5, т. 42, с. 159.

*** Там же, т. 40, с. 62—63.

дело *многих* и не скоропалительное), а политический или государственный, т. е. задание пролетариату?

Примерно: в 10 (5?) лет построим *20—30* (30—50?) станций, чтобы всю страну усеять центрами на 400 (или 200, если не осилим больше) верст радиуса; на торфе, на воде, на сланце, на угле, на нефти (*примерно* перебрать Россию всю,с *грубым* приближением). Начнем-де сейчас закупку необходимых машин и моделей. Через 10 (20?) лет сделаем Россию «электрической».

Я думаю, подобный «план» — повторяю, не технический, а государственный — проект плана, Вы бы могли дать.

Его надо дать сейчас, чтобы наглядно, популярно, для массы увлечь ясной и яркой (вполне *научной* в основе) перспективой: за работу-де, и в 10—20 лет мы Россию всю, и промышленную и земледельческую, сделаем *электрической*. Доработаемся до **стольких-то** (тысяч или миллионов лошадиных сил или киловатт?? черт его знает) машинных рабов и проч.

Если бы еще *примерную* карту России с центрами и кругами? или этого еще нельзя?

Повторяю, надо увлечь *массу* рабочих и сознательных крестьян *великой* программой на 10—20 лет.

Поговорим по телефону.
Ваш *Ленин.*

23.I.

P.S. Красин[3] говорит, что электрификация железных дорог для нас невозможна. Так ли это? А если так, то может быть будет возможна через 5—10 лет? может быть на Урале возможна?

Не сделать ли особой статьи о «государственном плане» сети электрических станций, с картой, или с примерным их перечнем (числом), с перспективами, способными централизовать энергию всей страны?

Позвоните мне, пожалуйста, по телефону, получив это письмо, и мы поговорим.

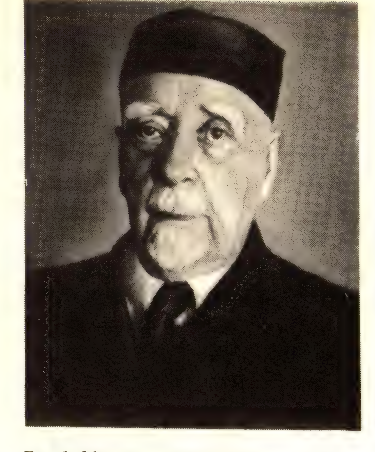
Из воспоминаний академика Г. М. Кржижановского о роли В. И. Ленина в электрификации страны (1918—1923 гг.)*

Начало большого пути

Как известно, дореволюционная Россия, несмотря на развитие капитализма и наличие в ней крупной промышленности, являлась аграрной, отсталой страной. Она имела современных орудий производства вчетверо меньше, чем Англия, в пять раз меньше

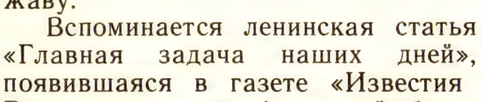
* В кн.: Ленин и Академия наук. Сб. документов.— М., 1969, с. 169—174.

чем Германия, и вдесятеро меньше, чем Америка.



Глеб Максимилианович Кржижановский

Страна нуждалась в решительном революционном преобразовании. Мысль о таком преобразовании нашей Родины была всепокоряющей думой на протяжении всей сознательной жизни Владимира Ильича Ленина. Мы, представители старой гвардии большевизма, хорошо помним, как Владимир Ильич намечал трассу пути только что родившегося Советского государства, начертал гениальный план строительства социализма в нашей стране, план превращения отсталой России в могучую, богатую социалистическую державу.



Вспоминается ленинская статья «Главная задача наших дней», появившаяся в газете «Известия ВЦИК» 12 марта 1918 г. В качестве эпиграфа к ней были приведены такие слова из поэмы Н. А. Некрасова «Кому на Руси жить хорошо»:

«Ты и убогая, ты и обильная,
Ты и могучая, ты и бессильная,
Матушка-Русь!»

Основная мысль статьи выражена в следующем утверждении Ильича: «У нас есть материал и в природных богатствах, и в запасе человеческих сил, и в прекрасном размахе, который дала народному творчеству великая революция, — чтобы создать действительно могучую и обильную Русь».

Владимир Ильич призвал трудящихся города и деревни камень за камушком вкладывать в фундамент нового, социалистического общества.

Нас поражало, сколько труда тратил Ленин на то, чтобы сделать ясным для нашей партии, рабочего класса, всего народа положение о том, что экономической основой социализма, базой могущества Страны Советов и источником роста благосостояния трудящихся может быть только крупная машинная промышленность, электрификация всей страны.

. . . .

«Только тогда,— разъяснял Ленин,— когда страна будет электрифицирована, когда под промышленность, сельское хозяйство и транспорт будет подведена техническая база современной крупной промышленности, только тогда мы победим окончательно».

С самого начала социалистического строительства Ленин добивался, чтобы на службу великому делу переустройства об-

щества были поставлены все достижения передовой науки и техники. Это видно из его «Наброска плана научно-технических работ», написанного в связи с обращением Академии наук в конце марта 1918 г. к Советскому правительству с предложением привлечь ученых к исследованию естественных богатств страны... В этом плане Ленин рекомендовал обратить особое внимание на «электрификацию промышленности и транспорта и применение электричества к земледелию», на «использование непервоклассных сортов топлива (торф, уголь худших сортов) для получения электрической энергии с наименьшими затратами на добычу и перевоз горючего», а также на использование водных сил и ветряных двигателей вообще и в применении к земледелию.

В тяжелые 1919—1920 гг. временами казалось, что все стихии — и голод, и холод, и небывалая разруха, и эпидемии, и крестьянская тяга к старым привычкам — с такой силой обрушились на нас, что мы не выдержим.

Вспоминаю, как в те дни тяжелых испытаний в неоднократных беседах с Владимиром Ильичем меня поражала и радовала его глубокая вера в неиссякаемые творческие силы народных масс. И сколько раз бывало он говорил мне, что другой народ, быть может, таких испытаний и не вынес бы, а наш народ вынесет и победит.

И вот в те дни, когда молодая республика Советов находилась в огненном кольце фронтов и блокады, Ленин поставил перед советскими хозяйственными органами, учеными и специалистами величественную задачу подготовки научного плана электрификации страны, создания мощной индустрии и социалистического переустройства на ее основе всей экономики России.

В адресованных мне записках Ленина, относящихся к первым послеоктябрьским годам, заметно выделяются те, которые посвящены задачам электрификации.

Многочисленные враги наши были уверены, что молодая Советская республика будет в кратчайший срок задушена голодом и холодом. Какой контраст с расчетами радетелей старого мира представляют ударные строчки этих записочек Ильича!..

. . . .

Ленинские указания о крупной машинной индустрии и электрификации страны как материальной основе социализма явились руководящей нитью для всей нашей работы по составлению плана электрификации России.

20 марта 1920 г. начала работать Государственная комиссия по электрификации России (ГОЭЛРО), созданная по указанию Ленина. Владимир Ильич с самого начала проявлял большой интерес к работе Комиссии, давал советы, оказывал ей громадную помощь и поддержку.

Он лично познакомился с членами Комиссии и имел точное представление о роли каждого в нашей сложной и ответственной

работе. Программа деятельности Комиссии была разработана при непосредственном участии Ленина...

. . . .

Ленинский план электрификации России (план ГОЭЛРО) явился первым в мире научным планом построения фундамента социализма на основе высшей техники.

«На мой взгляд, — говорил Ленин о плане электрификации на VIII съезде Советов, — это — наша вторая программа партии».

План ГОЭЛРО намечал твердый курс на создание в России собственной тяжелой промышленности как основы независимости и усиления обороноспособности страны и социалистического переустройства всего народного хозяйства.

. . . .

Из книги Г. Уэллса[4] «Россия во мгле»*

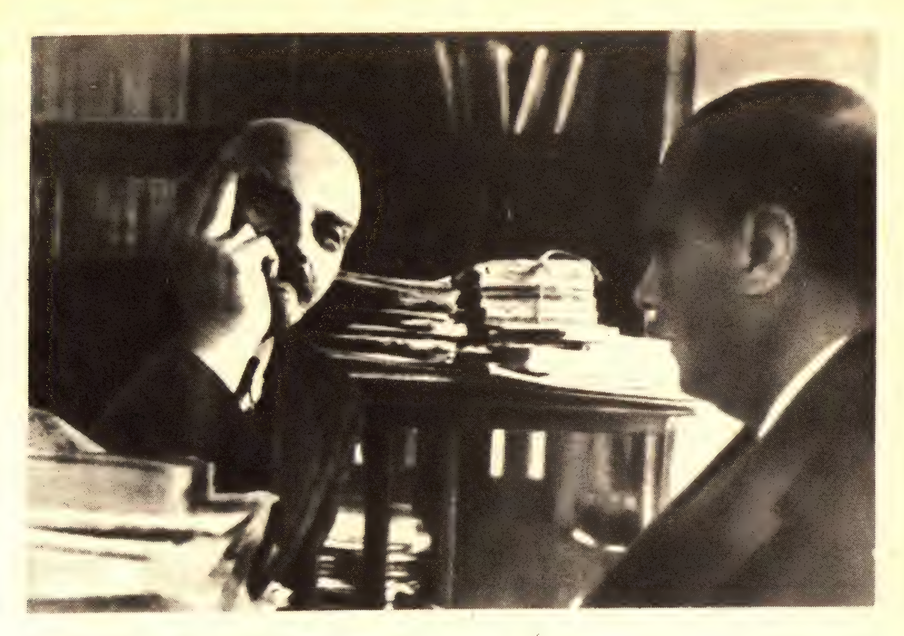
Наконец, мы попали в кабинет Ленина, светлую комнату с окнами на кремлевскую площадь; Ленин сидел за огромным письменным столом, заваленным книгами и бумагами...

Я ожидал встретить марксистского начетчика, с которым мне придется вступить в схватку, но ничего подобного не произошло...

Имею ли я представление о том, что уже делается в России? Об электрификации России?

Дело в том, что Ленин, который, как подлинный марксист, отвергает всех «утопистов», в конце концов сам впал в утопию, утопию электрификации. Он делает все, что от него зависит, чтобы создать в России крупные электростанции, которые будут давать целым губерниям энергию для освещения, транспорта и промышленности. Он сказал, что в порядке опыта уже электрифицированы два района. Можно ли представить себе более дерзновенный проект в этой огромной равнинной, покрытой лесами стране, населенной неграмотными крестьянами, лишенной источников водной энергии, не имеющей технически грамотных людей, в которой почти угасли торговля и промышленность? Такие проекты электрификации осуществляются сейчас в Голландии, они обсуждаются в Англии, и можно легко представить себе, что в этих густонаселенных странах с высокоразвитой промышленностью электрификация окажется успешной, рентабельной и вообще благотворной. Но осуществление таких проектов в России можно представить себе только с помощью сверхфантазии. В какое бы волшебное зеркало я ни глядел, я не могу увидеть эту Россию будущего, но невысокий человек в Кремле обладает таким даром. Он видит, как вместо разрушенных железных дорог появляются новые, электрифицированные, он видит, как новые шоссейные

* Уэллс Г. Россия во мгле.— М., 1958, с. 69, 72—73.



В. И. Ленин беседует с английским писателем Г. Уэллсом

дороги прорезают всю страну, как подымается обновленная и счастливая, индустриализованная коммунистическая держава. И во время разговора со мной ему почти удалось убедить меня в реальности своего провидения.

...Он безгранично верит в свое дело.

— Но все это только наброски, первые шаги, — сказал я.

— Приезжайте снова через десять лет и посмотрите, что сделано в России за это время, — ответил он.

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Глеб Максимилианович Кржижановский* (1872—1959) — советский ученый-энергетик, академик, выдающийся организатор хозяйственной жизни страны, близкий соратник В. И. Ленина. Он был внуком ссыльного декабриста. Родился в Самаре в семье адвоката. Еще будучи студентом Петербургского технологического института, он сблизился и подружился с Лениным и вместе с ним участвовал в создании и работе ленинского «Союза борьбы за освобождение рабочего класса». В 1895 г. Ленин, Кржижановский и другие члены Союза были арестованы. Четырнадцать месяцев пробыл Кржижановский в одиночном заключении и затем был выслан в Минусинский округ. Находясь невдалеке от Шушенского — места ссылки Ленина, — он регулярно переписывался и неоднократно встречался с Владимиром Ильичем. Эти годы дружбы оказали огромное влияние на весь жизненный путь Кржижановского. Он был активным участником революции 1905—1907 гг.

В 1907 г. Кржижановский начал работать в качестве электромонтера и вскоре вырос в крупного специалиста. С 1910 г. заведовал в Москве кабельной электросетью, участвовал в проектировании и строительстве под Москвой первой в России электростанции на торфе (станция «Электропередача»).

Победа пролетарской революции открыла широкий простор для проявления таланта Кржижановского как инженера, ученого, государственного деятеля. Партия, Ленин доверили ему в 1920 г. непосредственное руководство Комиссией ГОЭЛРО. Следуя ленинским советам и указаниям, он умело направлял работу Комиссии, привлек к участию в ней лучшие научно-технические силы страны. VIII Всероссийский съезд Советов одобрил план ГОЭЛРО.

В 1921—1930 гг. Кржижановский руководил Госпланом, в 1929—1939 гг. являлся вице-президентом Академии наук СССР, а с 1930 г. — директором Энергетического института Академии наук СССР. При его участии сооружались первые мощные советские электростанции. В 1957 г. ему было присвоено звание Героя Социалистического Труда.

Кржижановский — автор ряда воспоминаний о Ленине. Он написал известные песни революционного подполья, в том числе «Варшавянку» («Вихри враждебные веют над нами...»).

[2] В. И. Ленин имел в виду статью Г. М. Кржижановского «Задачи электрификации промышленности», напечатанную в сокращенном виде в «Правде» от 30 января 1920 г.

[3] *Леонид Борисович Красин* (1870—1926) — видный советский государственный и партийный деятель. За участие в революционном движении неоднократно арестовывался царскими властями. После окончания в 1900 г. технологического института участвовал в строительстве ряда электростанций, где проявил себя в качестве крупного инженера и организатора. Ленин называл его ответственным техником, финансистом. В послереволюционные годы занимал ряд ответственных государственных постов. В 1919 г. он был наркомом путей сообщения, в 1920—1923 гг.— наркомом внешней торговли.

[4] *Герберт Уэллс* (1866—1946) — английский писатель. Им написано большое число научно-фантастических романов, и он по праву считается родоначальником этого жанра литературы.

Писатель трижды посетил нашу страну. В первый раз он приехал в Советскую Россию в тяжелый двадцатый год. Разрушенная за годы первой мировой и гражданской войн молодая пролетарская республика переживала суровое время. Его беседа с В. И. Лениным (она состоялась 6 октября 1920 г.) получила широкую известность благодаря книге «Россия во мгле», которую он написал после этой поездки. Книга сыграла большую роль в распространении правды о Советской России и Коммунистической партии.

Когда писатель вновь посетил нашу страну в 1934 г., его спор с Лениным уже был решен историей — план ГОЭЛРО, план электрификации был осуществлен в кратчайшие сроки. Уэллс вынужден был признать несомненные успехи социалистического строительства.

Во время второй мировой войны писатель выступал в поддержку страны Советов.

V. ОПТИКА

ГЮЙГЕНС*

В XVII в. существовали две точки зрения на природу света. Согласно одной из них свет представляет собой распространение движения в некоей тонкой среде, которая, как полагали, заполняет вакуум и промежутки между частицами тел. Вторая точка зрения представляла свет как поток очень мелких частиц в пустом пространстве и сквозь прозрачные тела.

Несмотря на то что первая точка зрения, из которой затем развилась волновая теория света, оказалась правильной, на ее основе трудно было объяснить прямолинейное распространение света.

Казалось, что и свет, если бы он представлял собой распространяющееся возмущение, не должен бы обнаруживать свойства прямолинейного распространения: за экраном, в частности, не должно быть тени.

Гюйгенс первый попытался объяснить прямолинейность распространения света, исходя из волновой теории на основе предложенного им принципа, известного сейчас как «принцип Гюйгенса».

Ниже мы приводим соответствующий отрывок из сочинения Гюйгенса «Трактат о свете», написанного в 1678 г. и опубликованного в 1690 г.

Из работы Х. Гюйгенса «Трактат о свете»

О лучах, распространяющихся прямолинейно

...Нельзя сомневаться в том, что свет состоит в движении какого-то вещества... Если рассмотреть действия, им производимые, то можно заметить, что, когда свет собран вместе, с помощью, например, вогнутых зеркал, он обладает свойством сжигать, как огонь, т. е. он разъединяет отдельные части тел; последнее обстоятельство служит убедительным признаком движения, по крайней мере, для истинной философии, в которой причину всех естественных явлений постигают при помощи соображений механического характера. По моему мнению, так и следует поступать, в противном случае приходится отказаться от всякой надежды когда-либо и что-нибудь понять в физике...

---

* См. примечание (1) на с. 21.

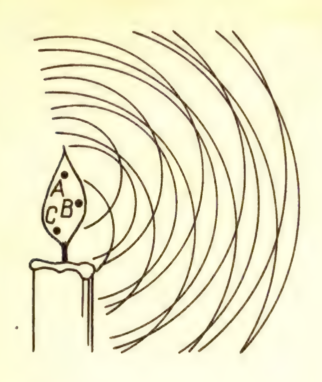


Рис. 1

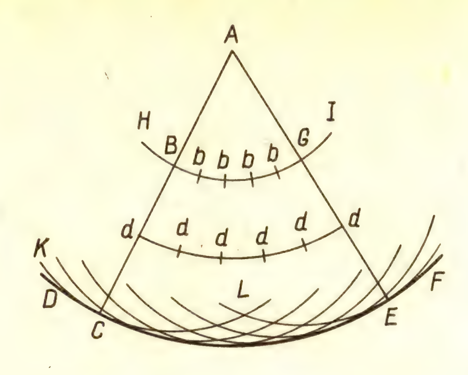


Рис. 2

...Несомненно, что и свет доходит от светящегося тела до нас каким-нибудь движением, сообщенным веществу, находящемуся между ним и нами... Поскольку вместе с тем свет употребляет для своего прохождения некоторое время..., из этого следует, что движение, сообщенное веществу, ... распространяется так же, как и при звуке, сферическими поверхностями и волнами: я называю эти поверхности волнами по сходству с волнами, которые можно наблюдать на воде, в которую брошен камень, и которые изображают собой указанное постепенное распространение кругами, хотя оно и происходит от другой причины и в плоской поверхности.

...Из того, что было сказано о происхождении света, следует, что каждая маленькая часть какого-нибудь светящегося тела, как Солнце, свеча или раскаленный уголь, порождает свои собственные волны, центром которых она и является. Так, если в пламени свечи (рис. 1) отметить точки A, B и C, то концентрические круги, описанные около каждой из них, представят собой идущие от них волны. То же самое следует представить себе вокруг каждой точки как на поверхности, так и на внутренней части пламени.

...Не нужно представлять себе, что сами волны следуют друг за другом на одинаковых расстояниях. Если на нашем рисунке эти расстояния показаны одинаковыми, то это скорее должно изображать передвижение одной и той же волны за одинаковые промежутки времени, чем несколько волн, исходящих из одного центра...

По поводу процесса образования этих волн следует еще отметить, что каждая частица вещества, в котором распространяется волна, должна сообщать свое движение не только ближайшей частице, лежащей на проведенной от светящейся точки прямой, но необходимо сообщает его также и всем другим частицам, которые касаются ее и препятствуют ее движению. Таким образом, вокруг каждой частицы должна образоваться волна, центром которой она является. Так, если DCF (рис. 2) — волна,

исходящая из светящейся точки *A*, ее центра, то частица *B*, одна из тех, которые находятся в сфере *DCF*, производит свою отдельную волну *KCL*, которая коснется волны *DCF* в *C* в тот же момент, когда главная волна, исходящая из точки *A*, достигает *DCF*; и ясно, что только точка *C* волны *KCL*, т. е. та, которая находится на прямой, проведенной через *AB*, коснется волны *DCF*. Таким же образом остальные частицы, заключенные в сфере *DCF*, как *bb*, *dd* и т. д., создадут каждая свою волну. Но каждая из этих волн может быть только бесконечно слабой сравнительно с волной *DCF*, образованию которой содействуют все остальные волны той частью своей поверхности, которая наиболее удалена от центра *A*...

Чтобы перейти к свойствам света, заметим прежде всего, что каждая часть волны должна распространяться так, чтобы ее края всегда заключались между одними и теми же прямыми, проведенными из светящейся точки. Так, часть волны *BG*, имеющая своим центром светящуюся точку *A*, растянется в дугу *CE*, ограниченную прямыми *ABC* и *AGE*. Действительно, хотя отдельные волны, произведенные частицами, заключенными в пространстве *CAE*, распространяются также и вне этого пространства, но все же в каждое данное мгновение все они вместе содействуют образованию волны, заканчивающей движение как раз на окружности *CE*, их общей касательной линии.

Отсюда ясна причина, почему свет, если только его лучи не отражены и не прерваны, распространяется исключительно по прямым, так что он освещает какой-либо предмет только тогда, когда от его источника до этого предмета открыт прямолинейный путь. Так, если, например, имеется отверстие *BG*, ограниченное непрозрачными телами *BH* и *GI*, волна света из точки *A*, как было только что показано, всегда будет ограничиваться прямыми *AC* и *AE*: части отдельных волн, распространяющиеся за пределы пространства *ACE*, слишком слабы, чтобы производить там свет.

Сколь бы малым ни было отверстие *BG*, проходить между прямыми заставляет свет одна и та же причина; именно отверстие это всегда достаточно велико, чтобы заключать большое количество непостижимо малых частиц эфирной материи; таким образом представляется, что каждая малая часть волны обязательно продвигается по прямой, исходящей из светящейся точки. В этом смысле можно принимать лучи света за прямые линии.

НЬЮТОН*

В противоположность Гюйгенсу, Ньютон высказался в пользу корпускулярной теории света. Ньютон встал на точку зрения, согласно которой свет является потоком частиц: по-видимому, одной из причин

* См. примечание [1] на с. 28.

этого было открытие им явления дисперсии света. Ньютон пришел к следующим представлениям: белый свет состоит из лучей разных цветов; проходя сквозь призму, белый свет разлагается на отдельные монохроматические лучи, которые в дальнейшем ни при преломлении, ни при отражении не изменяют своей окраски и показателя преломления, т. е. сохраняют свою индивидуальность. Это склонило Ньютона к выводу, что белый свет состоит из монохроматических лучей различной окраски, представляющих собой потоки частиц различной преломляемости.

Свои открытия в области дисперсии и взгляды на природу света Ньютон изложил в сочинении под названием «Оптика или трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света», вышедшем в 1704 г. В этом трактате Ньютон коснулся и явлений интерференции и дифракции, которые только еще начали изучаться и которые Ньютон также рассчитывал объяснить с точки зрения корпускулярной теории света.

Из книги И. Ньютона «Оптика или трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света»

Книга первая оптики

Часть I

...**Предложение 1. Теорема 1.** *Лучи, отличающиеся по цвету, отличаются и по степеням преломляемости...*

Предложение 2. Теорема 2. *Солнечный свет состоит из лучей различной преломляемости.*

Доказательство опытами

...В середине двух тонких досок я проделал круглые отверстия диаметром в треть дюйма, а в оконном ставне было сделано значительно более широкое отверстие, для того чтобы впускать в мою затемненную комнату широкий пучок солнечного света; я поместил за ставнем призму, для того чтобы пучок преломлялся к противоположной стене; непосредственно за призмой я закрепил одну из досок таким образом, чтобы середина преломленного света могла проходить через отверстие в доске, остальная же часть задерживалась доскою. Затем на расстоянии около двенадцати футов от первой доски я закрепил другую доску так, что середина преломленного света, проходящая через отверстие в первой доске и падающая на противоположную сторону, могла проходить через отверстие во второй доске, остальная же часть, задержанная доскою, могла отбрасывать на ней окрашенный спектр солнца.

Непосредственно за этой доской я поместил другую призму для преломления света, проходящего через отверстие. Затем я быстро вернулся к первой призме и, медленно вращая ее в ту и в другую сторону вокруг ее оси, заставил изображение, падающее на вторую доску, двигаться вверх и вниз по доске, так что все его части могли последовательно проходить через отверстие в этой доске и падать на призму за нею. В то же время я отмечал на противоположной стене положения, до которых доходил свет после преломления во второй призме; по разностям этих положений я нашел, что свет, наиболее преломляющийся в первой призме, шел к синему концу изображения и во второй призме снова больше преломлялся, чем свет, шедший к красному концу того же изображения, что доказывает как первое, так и второе предложение. Это получалось как в том случае, когда оси двух призм были параллельны, так и тогда, когда они были наклонны одна к другой и к горизонту под любыми углами...

Часть II

...Предложение 2. Теорема 2. *Всякий однородный свет имеет собственную окраску, отвечающую степени его преломляемости, и такая окраска не может изменяться при отражениях и преломлениях...*

Опыт. ...Поскольку цвета неизменны при преломлениях, постольку же они неизменны при отражениях, ибо все белые, серые, красные, желтые, зеленые, синие, фиолетовые тела, как бумага, пеплы, сурик, аурипигмент, индиго, лазурь, золото, серебро, медь, трава, синие цветы, фиалки, мыльные пузыри, окрашенные в различные цвета, павлиньи перья, ... и тому подобные тела, кажутся совершенно красными в красном однородном свете, совершенно синими в синем свете, совершенно зелеными в зеленом и также по отношению к другим цветам.

В однородном свете любой окраски все тела казались в точности того же самого цвета, с той только разницей, что некоторые из них отражали этот свет более сильно, другие — более слабо. Я, однако, никогда не находил тела, которое при отражении однородного света меняло бы заметно его цвет.

Из всего этого явствует, что если бы солнечный свет состоял из одного только сорта лучей, во всем мире был бы только один цвет нельзя было бы получить какой-нибудь новый цвет посредством отражений или преломлений; следовательно, разноообразие цветов зависит от сложности света.

Определение

Однородный свет и лучи, кажущиеся красными или скорее заставляющие предметы казаться таковыми, я называю создающими красный цвет; лучи, заставляющие предметы казаться желтыми,

зелеными, синими или фиолетовыми, я называю создающими желтый, создающими зеленый, создающими синий, создающими фиолетовый цвет, и также по отношению к остальным. И если иногда я говорю о свете или лучах как окрашенных или имеющих цвета, то не следует понимать, что я говорю философски и точно; я выражаюсь грубо и в соответствии с теми представлениями, которые может получить простой народ, видя все эти опыты...

Книга третья оптики

...Ввиду того что я не завершил моего плана, я закончу предложением только нескольких вопросов для дальнейшего исследования, которое произведут другие.

Вопрос 1. Не действуют ли тела на свет на расстоянии и не изгибают ли этим действием его лучей; и не будет ли (при прочих равных условиях) это действие сильнее всего на наименьшем расстоянии?

. . . .

Вопрос 3. Не изгибаются ли лучи света, проходя около краев тел, несколько раз вперед и назад, совершая движения, подобные движениям угря? И не возникают ли окрашенные каймы вследствие изгибаний такого рода?

. . . .

Вопрос 28. Не ошибочны ли все гипотезы, в которых свет приписывается давлению или движению, распространяющемуся через некоторую жидкую среду (эфир)?..

Если бы свет состоял только в давлении, распространяющемся без действительного движения, он не был бы способен двигать и нагревать тела, его преломляющие и отражающие. Если бы он состоял в движении, мгновенно распространяющемся на все расстояния, потребовалась бы каждый момент бесконечная сила в каждой светящейся частице, чтобы производить движение. Если бы свет состоял в давлении или движении, распространяющихся мгновенно или во времени, он должен бы загибаться внутрь тени. Ибо давление или движение не могут распространяться в жидкости по прямым линиям около препятствия, задерживающего часть движения, — они будут загибаться и распространяться ... внутри покоящейся среды, лежащей за препятствием... Волны на поверхности стоячей воды, проходя по сторонам широкого препятствия, задерживающего часть волн, после этого загибаются и постоянно расширяются в покоящуюся воду за препятствием. Волны, пульсации или колебания воздуха, из которых состоит звук, ясно загибаются, однако не так сильно, как водяные волны. Ибо колокол или пушку можно слышать за холмом, загораживающим вид звучащего тела, и звук распространяется так же легко по извилистым трубкам, как по прямым. Относительно света неизвестно ни одного случая, чтобы он распространялся по извилистым

проходам или загибался внутрь тени. Ибо при прохождении одной из планет между Землей и неподвижными звездами последние перестают быть видимыми. То же происходит с частями Солнца при прохождении Луны, Меркурия или Венеры. Лучи, проходящие очень близко от краев какого-нибудь тела, немного загибаются действием тела, как мы видели выше; но это загибание направлено не внутрь, но от тени и происходит только при прохождения луча около тела и на очень малом расстоянии от него. Как только луч проходит мимо тела, он идет дальше по прямой...

Против заполнения неба жидкими средами (эфиром.— Прим. ред.), если они только не чрезвычайно разрежены, возникает большое сомнение в связи с правильными и весьма длительными движениями планет и комет по всякого рода путям в небесном пространстве. Ибо отсюда ясно, что небесное пространство лишено всякого заметного сопротивления, а следовательно, и всякой ощутимой материи.

За то, чтобы отбросить такую среду, мы имеем авторитет тех древнейших и наиболее знаменитых философов Греции и Финикии, которые приняли Vacuum, и атомы, и тяготение атомов как первые принципы своей философии, приписывая молчаливо тяжесть некоторой иной причине, а не плотной материи...

Вопрос 29. Не являются ли лучи света очень малыми телами, испускаемыми светящимися веществами? Ибо такие тела будут проходить через однородные среды без загибания в тень, соответственно природе лучей света. Они могут иметь также различные свойства и способы сохранять эти свойства неизменными при прохождении через различные среды, в чем заключается другое условие лучей света. Прозрачные вещества действуют на лучи света на расстоянии, преломляя, отражая и изгибая их, и взаимно лучи двигают части этих веществ на расстоянии, нагревая их; это действие и противодействие на расстоянии очень похожи на притягательную силу между телами. Если преломление происходит благодаря притяжению лучей, синусы падения должны находиться к синусам преломления в данном отношении, как мы показали в наших Началах философии. Это правило оправдывается опытом. Лучи света, переходя из стекла в Vacuum, загибаются к стеклу, и если они падают слишком отлого в Vacuum, они загибаются обратно в стекло и полностью отражаются; это отражение не может быть приписано сопротивлению абсолютного Vacuum'а, но должно вызываться силою стекла, притягивающей лучи при их выходе в Vacuum и возвращающей их назад. Ибо если вторую поверхность стекла смочить водой, или прозрачным маслом, или жидким и прозрачным медом, то лучи, которые в ином случае отразились бы, переходят в воду, масло или мед и поэтому не отражаются, доходя до новой поверхности стекла, но начинают из него выходить. Если они входят в воду, масло или мед, они проходят, потому что притяжение стекла уравновешивается и ста-

новится бездейственным благодаря противоположному притяжению жидкости. Но если лучи выходят в Vacuum, который не производит притяжения, уравновешивающего притяжение стекла, то стекло загибает лучи и преломляет их или возвращает обратно и отражает...

ФРЕНЕЛЬ[1]


Огюстен Жан Френель

В течение всего XVIII в. господствовало представление о том, что свет является потоком мельчайших частиц. Этой теории придерживался и сам Ньютон. На основе корпускулярной теории света пытались объяснить и явления дифракции и интерференции, которые еще систематически не изучались.

В первой половине XIX в. в поле зрения исследователей попадают явления интерференции и дифракции света. В результате исследований этих явлений возникает мнение, что эти явления не могут быть объяснены корпускулярной теорией света. Начинает развиваться волновая теория света. Особое значение в возникновении и развитии волновой теории света имели работы выдающегося французского ученого О. Френеля, относящиеся к явлениям интерференции и дифракции.

Из мемуара О. Френеля «О свете»[2]

Между физиками уже давно существует разногласие о природе света. Одни полагают, что свет выбрасывается светящимися телами, тогда как другие думают, что он происходит от колебаний бесконечно тонкой упругой жидкости, распространенной во всем пространстве, подобно тому как звук происходит от колебаний воздуха...

Вновь открытые явления, по сравнению с ранее известными фактами, с каждым днем увеличивают шансы в пользу волнового принципа. Долгое время пренебрегаемый и более трудный, в смысле получения следуемых из него механических выводов, чем гипотеза испускания, он, тем не менее, дает нам уже значительно более широкие средства для надобностей вычислений. Последнее является одним из наименее сомнительных признаков правильности теории. Когда гипотеза правильна, то она должна приводить к открытию численных соотношений, связывающих

весьма несходные между собой явления. Напротив, когда она неправильна, то точным образом она может представить только те явления, для которых была придумана, подобно тому, как эмпирическая формула обобщает в себе произведенные измерения лишь в тех пределах, для которых ее вычислили. С ее помощью нельзя будет открыть тайные связи, соединяющие данные явления с явлениями другого рода...

Я мог бы к этому еще прибавить, что столь сложные по своему внешнему виду законы дифракции, которые напрасно старались разгадать соединенными силами опыта и принципа испускания, были показаны во всей их общности с помощью наиболее простых из принципов волновой теории. Несомненно, что и наблюдение способствовало их открытию, но с помощью его оно не могло бы быть сделано, в то время как волновая теория по отношению к явлениям дифракции так же, как и во многих других случаях, могла предвосхитить опыт и заранее предсказывать явления со всеми их особенностями.

Только что указанные нами успехи волнового принципа показывают, что выбор между той или другой теорией не может быть безразличен. Полезность теории не ограничивается только тем, что облегчает изучение фактов, соединяя их в более или менее многочисленные группы по наиболее характерным соотношениям. Другая, не менее важная, цель всякой хорошей теории должна состоять в том, чтобы содействовать прогрессу науки открытием связующих фактов и соотношений между наиболее различными, и кажущимися наиболее независимыми друг от друга, категориями явлений. Но ясно, что, исходя из мнимой гипотезы о природе света, нельзя достигнуть цели столь же быстро, как в случае овладения искомой тайной природы. Теория, основная гипотеза которой правильна, с каким бы трудом она ни поддавалась математическому анализу, укажет — даже между весьма чуждыми ей по содержанию фактами — соотношения, которые для другой теории навсегда останутся неизвестными. Таким образом, не говоря уже о весьма естественном и всегда должном существовать желании знать истину, мы видим, насколько для прогресса оптики и всего, что с нею связано, т. е. для прогресса всей физики и всей химии, важно, чтобы было известно, устремляются ли световые молекулы от тел, нас освещающих, к нашим глазам, или же свет распространяется с помощью вибраций промежуточной жидкости, частицам которой светящиеся тела сообщают свои колебания. Но пусть не думают, что это один из тех вопросов, решения которых нельзя достигнуть; и если он долгое время казался нерешенным, то не следует отсюда выводить, что его разрешить невозможно. Мы думаем даже, что он уже решен и что, внимательно рассмотрев оба принципа и те объяснения которые они дают до настоящего времени известным явлениям, нельзя будет не признать превосходства волновой теории...

Дифракция света

...Из этих опытов (по дифракции.— Прим. ред.) следует, что световые лучи, если в их непосредственной близости находится экран, могут быть отклонены от их первоначального направления не только у самого края экрана, но и на весьма заметных от него расстояниях.

Проследим теперь за следствиями, вытекающими из этого положения в теории испускания. Если бы световые молекулы, проходя на заметных расстояниях от поверхности тел, были их действием отклонены от первоначального направления, то по этой теории необходимо предположить, что это действие или производится притягивающими или отталкивающими силами, исходящими из тел, сфера действия которых простирается на подобные же по величине расстояния, или же его нужно приписать маленьким атмосферам, такой же величины, как и сферы действия, и с другим, чем у окружающей среды, показателем преломления. Но из этих двух гипотез одинаково следует, что в приведенном нами опыте отклонение лучей зависело бы от формы, величины и природы краев отверстия, тогда как с помощью точных наблюдений можно убедиться, что эти обстоятельства никакого заметного влияния на явления не оказывают и что расширение световых пучков зависит исключительно от ширины отверстия. *Таким образом, явления дифракции необъяснимы в теории испускания.*

Ввиду того что это возражение мне кажется основным и решающим, я считаю нужным привести еще некоторые из опытов, подтверждающих принцип, на котором оно основано.

Я пропускал пучок света между двумя стальными пластинками, очень близкими друг к другу; их вертикальные края, во всю длину хорошо выправленные, были в одной половине острыми, а в другой закругленными и были расположены таким образом, что закругленный край одной пластинки соответствовал острому краю другой, и обратно. Отсюда следовало, что если в верхней половине отверстия острие находилось, например, справа, то в нижней части оно было налево. Следовательно, если бы разница в действии того и другого края отклоняла лучи в одну сторону хотя сколько-нибудь больше, чем в другую, то я заметил бы это в относительном положении верхних и нижних частей среднего блестящего промежутка и в особенности в положении сопровождающих его полос, которые должны были бы казаться сломанными в той своей части, которая соответствует точке, где верхнее острие внезапно закругляется и где начинается нижнее острие другой пластинки. Но внимательно и во всю длину рассматривая эти полосы, я не замечал никакой точки разрыва или изгиба; они были прямы и непрерывны, как если бы пластинки были расположены так, чтобы противолежащие части были на всем протяжении одной и той же формы...

Таким образом, хорошо доказано, что ни природа тел, ни масса их, ни толщина краев не имеют никакого заметного влияния на отклонение световых лучей, проходящих в их соседстве, и в равной мере очевидно, что этот замечательный факт не может совмещаться с теорией испускания.

Волновая теория, наоборот, его объясняет и дает даже средства для вычисления всех явлений дифракции...

Для того чтобы окончательно установить основы, на которых покоится общая теория дифракции, мне остается только рассказать о принципе Гюйгенса, который, как мне кажется, строго выводится из волновой теории.

Этот принцип можно формулировать таким образом: колебания световой волны в каждой ее точке могут рассматриваться как результат сложения элементарных движений, которые посылают в эту точку в один и тот же момент времени, действуя изолированно, все отдельные части этой волны, взятой в какомнибудь из ее предшествующих положений.

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Огюстен Жан Френель* (1788—1827) — французский инженер и физик. Родился в семье архитектора. После окончания Политехнической школы и Школы дорог и мостов в Париже он был направлен в 1809 г. на работу в качестве инженера по строительству и ремонту дорог. В свободное время он занимался научными исследованиями. Постепенно он сосредоточил свое внимание на выяснении природы света.

В то время Френель был изолирован от ученых; ему также не доставало книг, журналов и физических приборов. В письме от 1814 г. Френель писал, что слышал об открытии явления поляризации света, но что это за явление — он не знает.

Для своих исследований по дифракции света он при содействии сельского кузнеца сконструировал микрометр, с помощью которого можно было измерить расстояния между полосами дифракционной картины с точностью до десятых долей миллиметра. Обладая прекрасно развитым пространственным воображением, сложившимся в Политехнической школе в результате успешных занятий геометрией, он сумел мысленно представить себе ход световых лучей вблизи края препятствия и, опираясь на принцип Гюйгенса, дал метод расчета дифракционной картины от препятствия (принцип Гюйгенса — Френеля). Объяснение явления дифракции, предложенное Френелем (как и предложенное несколько ранее английским ученым Юнгом), было сначала воспринято лишь как удачный способ расчета дифракционной картины, но не доказательством волновой природы света. В то время одним из препятствий для признания волновой теории света была трудность объяснения с позиции волновой теории явления поляризации света. И Френель сумел преодолеть это препятствие, догадавшись, что свет — поперечная волна (все ученые, придерживавшиеся взгляда на свет как на волну, считали эту волну продольной; а продольная волна не может быть поляризована). Эта догадка Френеля, свидетельствующая о его поразительной интуиции, была скептически встречена почти всеми учеными, но оказалась весьма плодо-

творной. Она не только устранила главное препятствие на пути признания волновой теории света, но исследование возможности распространения поперечных световых волн привело к успешному развитию теории распространения упругих волн в различных средах.

[2] Работа была опубликована в 1822 г.

ЛЕБЕДЕВ[1]



Петр Николаевич Лебедев

Первым экспериментальным подтверждением теории Максвелла были опыты Герца с электромагнитными волнами. Дальнейшим подтверждением теории Максвелла явились экспериментальные работы выдающегося русского физика П. Н. Лебедева. Из теории Максвелла следовало, что свет, падая на какую-нибудь поверхность, оказывает на нее давление. Лебедев поставил себе задачу проверить это предсказание теории Максвелла. Однако эффект давления света мал и для его экспериментальной проверки требовалось большое экспериментальное искусство. Лебедев преодолел все трудности и в 1899 г. сделал предварительное сообщение о результатах своих опытов. Вот что мы читаем об этом сообщении: «Г-н Лебедев, профессор физики Московского университета, сообщает обществу о результатах своих первых исследований, относящихся к давлению света. Существование давления, оказываемого пучком световых лучей на поглощающую поверхность, является следствием электромагнитной теории света; на него было указано Максвеллом. Значение этого давления, согласно теории, должно быть весьма малым: 0,3 мг/м^2 черной поверхности. Г-ну Лебедеву удалось осуществить прибор, при помощи которого можно его измерить, и результат первых опытов согласуется с предсказанием теории...»

Позже, в 1909 г. Лебедев провел еще более трудное исследование: он измерил давление света на газы.

Из статьи П. Н. Лебедева «Световое давление»[2]

Когда пучок лучей падает на какое-либо тело, то одна часть падающих лучей отражается, а другая их часть или проходит сквозь тело (прозрачное) или поглощается им (непрозрачное). Мы можем объяснить эти явления и даже предвидеть ход лучей в бесконечном числе частных случаев, если, следуя Максвеллу,

предположим, что волны света суть электромагнитные волны, волны того же рода, как те, которые мы в настоящее время можем возбуждать искусственно электрическими процессами и которыми мы пользуемся для беспроволочной телеграфии. Разница заключается лишь в том, что длины волн, употребляемых в беспроволочной телеграфии, достигают сотен метров, тогда как электромагнитные волны светового пучка приблизительно в миллиард раз меньше и измеряются сотнями одной миллионной доли миллиметра.

Когда Максвеллу удалось объяснить все известные нам свойства светового пучка исходя из представления об электромагнитной природе света, то он же указал и на то, что его гипотеза неразрывно связана с новыми, до тех пор неизвестными магнитными и электрическими силами света: световые лучи должны оказывать давление на все тела, на которые они падают. То обстоятельство, что эта особенность светового пучка до того времени ускользала от наблюдателей, легко объясняется малой величиной этих сил давления: Максвелл вычислил в 1873 г., что при ясном небе в полдень давление солнечных лучей на поверхность в 4 $м^2$ едва достигает величины тысячной доли грамма...

В течение последующих двадцати лет средства экспериментальной техники разрослись в непредвиденном масштабе: даже в скромно оборудованных лабораториях экспериментатор мог располагать мощными источниками света в виде электрических дуговых ламп, а новые ртутные насосы позволили ему без затруднений разрежать воздух до одной миллионной доли атмосферы.

Таким образом, настало время, когда экспериментальное исследование светового давления стало возможным, и после трехлетней работы мне удалось сделать эти опыты (1900 г.).

Расположение моих опытов было следующим: в стеклянном баллоне, который был очень тщательно выкачан, висело на очень тонкой стеклянной нити маленькое горизонтальное коромысло, на конце которого были прикреплены крылышки в пять миллиметров в диаметре, изготовленные из платины, алюминия, никеля или слюды. При помощи линз свет дуговой лампы мог быть направлен на эти крылышки; возникавшие силы давления света могли быть измерены тем, что свет, падая на крылышко, заставлял его двигаться и закручивать стеклянную нить подвеса до тех пор, пока не наступало равновесие; когда же доступ света прекращался, то крылышко возвращалось в свое прежнее положение. Величина экспериментально измеренного отклонения крутильных весов и величина отклонения крылышка, вычисленная по теории Максвелла — Бартоли из измеренной величины падающей энергии светового пучка, вполне совпадали друг с другом в пределах возможных ошибок наблюдений...

Я позволю себе еще добавить, что мне недавно удалось измерить давление света на газы[3]. Мне удалось экспериментально

показать, что пучок лучей, пронизывающий газ, увлекает отдельные молекулы его в направлении своего движения. Как и следовало ожидать по теории Максвелла... силы давления, наблюдаемые в этом случае, были приблизительно еще во сто раз меньше сил давления света на твердые тела.

На основании всего изложенного выше в настоящее время мы можем утверждать, что существование сил светового давления как со стороны теоретического обоснования Максвеллом... так и со стороны полного экспериментального обследования этих сил, вне сомнения, является вполне доказанным.

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Ледебев Петр Николаевич* (1866—1912) — русский физик. Создал первую в России школу физиков, т. е. организовал работу группы физиков в близких областях науки и объединенных общностью научных интересов.

Лебедев родился в Москве в купеческой семье. После завершения среднего образования учился в Германии. В 1891 г. Петр Николаевич возвращается в Москву и по приглашению А. Г. Столетова становится преподавателем. а с 1900 по 1911 г. — профессором Московского университета. Именно в эти годы П. Н. Лебедев выполнил свои основные научные исследования.

В 1911 г. в ответ на подъем демократического движения студентов высших учебных заведений России царское правительство установило в Московском университете крайне реакционные порядки. В знак протеста большая группа профессоров и преподавателей покинула университет; в их числе был и П. Н. Лебедев. Лишившись возможностей проводить свои исследования, Лебедев тем не менее отказался от приглашения поехать в Стокгольм, где ему предлагали прекрасную лабораторию и большое жалование. На помощь П. Н. Лебедеву пришло русское «Общество содействия успехам опытных наук и практических применений», с помощью собственных средств организовавшее для него физическую лабораторию.

Сплочению молодых ученых вокруг Лебедева способствовали такие его качества, как страстная увлеченность наукой и готовность взять на себя наиболее трудные исследовательские задачи. Достаточно сказать, что световое давление на газы, измеренное Лебедевым, никто после него не измерял — так велики трудности этого эксперимента.

[2] Работа опубликована в 1910 г.

[3] Эта работа была доложена на XII съезде естествоиспытателей и врачей в Москве в 1907 г.

СТОЛЕТОВ[1]

В конце XIX и в самом начале XX в. волновая теория света, казалось, объясняла все оптические явления. Первые признаки того, что эта теория не охватывает всех оптических явлений, появились при исследовании явления фотоэффекта. Оно было открыто в 1887 г. Первоначально природа этого явления была неизвестна. Большое значение для выяснения природы фотоэффекта имели работы выдающегося русского ученого А. Г. Столетова, который разработал оригинальный метод изучения этого явления. В 1888 г. им была опубликована работа «Актино-электрические исследования», в которой он описал результаты своих опытов.



Александр Григорьевич Столетов

Из статьи А. Г. Столетова «Актино-электрические* исследования»

Повторяя в начале 1888 г. интересные опыты Г. Герца... относительно действия лучей на электрические разряды высокого напряжения, я вздумал испытать, получится ли подобное действие при электричестве слабых потенциалов...

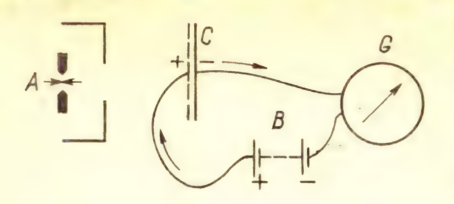
Моя попытка имела успех выше ожидания. Первые мои опыты начаты около 20 февраля 1888 г. и продолжались непрерывно, насколько позволяли другие занятия, по 21 июня 1888 г. В течение этого времени мне удалось, полагаю, осветить некоторые любопытные вопросы относительно «актино-электрических» действий. Некоторые дополнительные наблюдения произведены во второй половине 1888 г. и в текущем году, и я еще не считаю мое исследование законченным...

Основной опыт, который после некоторых неудач, зависевших от выбора гальванометра, совершенно убедительно удался 26 февраля 1888 г., состоял в следующем.

Два металлические диска... в 22 см диаметра, были установлены вертикально и друг другу параллельно... перед электрическим фонарем, ...из которого вынуты все стекла. В фонаре имелась лампа с вольтовой дугой *A*..., питаемая динамо-машиной (обыкновенно около 70 В и 12 А). Один из дисков, ближайший к фонарю, сделан из тонкой металлической сетки (встречае-

---

* Этот термин казался мне наиболее естественным для обозначения тех явлений, о которых идет речь; по моему почину он принят и некоторыми другими учеными. — Прим. автора.



мой в продаже), латунной или железной, иногда гальванопластически покрытой другим металлом, которая была натянута в круглом кольце; другой диск — сплошной (металлическая пластина).

Диски соединены между собой проволокой, в которую введены гальваническая батарея *B* и чувствительный... гальванометр... с большим сопротивлением (5212 Ом)...

Таким образом, мои два диска представляли собой род воздушного конденсатора, заряжаемого сравнительно невысокой электродвижущей силой. Благодаря свойству передней, сетчатой арматуры, задняя арматура могла быть освещаема лучами вольтовой дуги с внутренней стороны, т. е. с той, где преимущественно накопляется электрический заряд. Другая арматура (сетка) освещалась лишь с невыгодной (слабо заряженной) стороны прямыми лучами, с внутренней же стороны — лишь отраженными от сплошного диска. Такая комбинация казалась мне наиболее удобной, чтобы обнаружить разряжающее действие лучей, что и оправдалось вполне...

Постараюсь вкратце сопоставить результаты, найденные для воздуха при обыкновенном давлении.

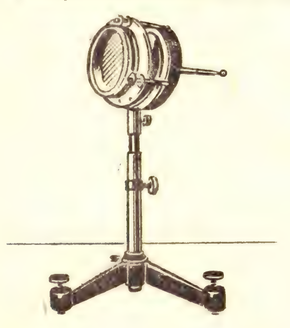
1. Лучи вольтовой дуги, падая на поверхность отрицательно заряженного тела, уносят с него заряд. Смотря по тому, пополняется ли заряд и насколько быстро, это удаление заряда может сопровождаться заметным падением потенциала или нет.

2. Это действие лучей есть строго униполярное[2]; положительный заряд лучами не уносится.

3. По всей вероятности, кажущееся заряжение нейтральных тел лучами объясняется той же причиной.

4. Разряжающим действием обладают — если не исключительно, то с громадным превосходством перед прочими — лучи самой высокой преломляемости, недостающие в солнечном спектре ($\lambda < 295 \cdot 10^{-6}$ мм). Чем спектр обильнее такими лучами[3], тем сильнее действие.

5. Для разряда лучами необходимо, чтобы лучи поглощались поверхностью тела. Чем больше поглощение активных лучей, тем поверхность чувствительнее к их разряжающему действию.



Прибор А. Г. Столетова для изучения фотоэффекта (хранится в музее Столетовых в г. Владимире).

6. Такой чувствительностью, без значительных различий, обладают все металлы, но особенно высока она у некоторых красящих веществ (анилиновых красок). Вода, хорошо пропускающая активные лучи, лишена чувствительности.

7. Разряжающее действие лучей обнаруживается даже при весьма кратковременном освещении, причем между моментом освещения и моментом соответственного разряда не протекает заметного времени.

8. Разряжающее действие... пропорционально энергии активных лучей, падающих на разряжаемую поверхность.

9. Действие обнаруживается даже при ничтожных отрицательных плотностях заряда; величина его зависит от этой плотности; с возрастанием плотности до некоторого предела оно растет быстрее, чем плотность, а потом медленнее и медленнее.

10. Две пластинки разнородных в ряду Вольты металлов, помещенные в воздухе, представляют ряд гальванического элемента, как скоро электроотрицательная пластинка освещена активными лучами.

11. Каков бы ни был механизм актино-электрического разряда, мы вправе рассматривать его как некоторый ток электричества, причем воздух (сам ли по себе или благодаря присутствию в нем посторонних частиц) играет роль дурного проводника. Кажущееся сопротивление этому току не подчиняется закону Ома, но в определенных условиях имеет определенную величину.

12. Актино-электрическое действие усиливается с повышением температуры.

13. Несмотря на значительное число исследований по рассматриваемому классу явлений за последнее время, полного объяснения явлений до сих пор не найдено. Не претендуя со своей стороны дать такое объяснение, я ограничусь несколькими критическими замечаниями о предложенных гипотезах.

Актино-электрические явления, в том виде, как они описаны, совершаются исключительно в газах или парах. Мои попытки получить что-либо подобное в твердых и жидких изоляторах повели к отрицательным результатам...

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Александр Григорьевич Столетов* (1839—1896) — русский физик, профессор Московского университета (с 1873 г.).

А. Г. Столетов родился во Владимире, в купеческой семье. После окончания в 1860 г. Московского университета был оставлен при университете для подготовки к профессорскому званию. В 1862—1865 гг. он продолжал свое образование во Франции и Германии.

Огромной заслугой А. Г. Столетова является организация в Московском университете физической лаборатории, в которой начало свою научную деятельность целое поколение физиков России.

Ряд исследований Столетова посвящены проблемам магнетизма и электричества.

Очень много сил Столетов тратил на популяризацию физики среди населения, в частности, он долгое время руководил физическим отделением Общества любителей естествознания, астрономии и этнографии, а также отделом прикладной физики в Политехническом музее.

Мировую известность принесло ему исследование фотоэлектрических (по терминологии Столетова — актино-электрических) явлений.

[2] То есть под влиянием света уносятся всегда только заряды одного знака — отрицательные.

[3] Речь идет об ультрафиолетовой части спектра.

ЭЙНШТЕЙН[1]



Альберт Эйнштейн

Альберт Эйнштейн — великий физик XX в. Он первый понял невозможность объяснить законы фотоэффекта и другие явления, относящиеся к взаимодействию света и вещества, на основе волновой теории света и показал, что эти явления легко объясняются, если принять квантовую гипотезу, согласно которой свет проявляет свойства потока частиц, энергия которых

$$\varepsilon = h\nu,$$

где ν — частота световых колебаний, h — постоянная Планка.

Однако первоначально сам Эйнштейн и другие физики рассматривали данную гипотезу лишь как эвристическую, считая, что она, хотя и хорошо объясняет наблюдаемые явления и факты, не отражает адекватно сути самих физических процессов. Поэтому Эйнштейн и назвал свою статью, в которой была выдвинута гипотеза о фотонах, «Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и распространения света» (1905 г.). В последующее время многие физики, в частности сам Эйнштейн, пытались дать наглядное представление о фотонах (квантах света). Однако выяснилось, что это невозможно. В конце концов возникло современное представление о двойственной, корпускулярно-волновой природе света.

Из статьи А. Эйнштейна «Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и превращения света»

...Согласно теории Максвелла, во всех электромагнитных, а значит и световых явлениях энергию следует считать величиной, непрерывно распределенной в пространстве, тогда как энергия

весомого тела, по современным физическим представлениям, складывается из энергий атомов и электронов. Энергия весомого тела не может быть раздроблена на сколь угодно большое число произвольно малых частей, тогда как энергия пучка света, испущенного точечным источником, по максвелловской (или вообще по любой волновой) теории света, непрерывно распределяется по все возрастающему объему.

Волновая теория света... прекрасно оправдывается при описании чисто оптических явлений и, вероятно, едва ли будет заменена какой-либо иной теорией. Но все же не следует забывать, что оптические наблюдения относятся не к мгновенным, а к средним по времени величинам. Поэтому, несмотря на полное подтверждение экспериментом теории дифракции, отражения, преломления, дисперсии и т. д., может оказаться, что теория света[2] приведет к противоречию с опытом, когда ее будут применять к явлениям возникновения и превращения света.

Я и в самом деле думаю, что опыты, касающиеся ... фотолюминесценции, возникновения катодных лучей при освещении ультрафиолетовыми лучами и других групп явлений, связанных с возникновением и превращением света, лучше объясняются предположением, что энергия света распределяется по пространству дискретно. Согласно этому сделанному здесь предположению, энергия пучка света, вышедшего из некоторой точки, не распределяется непрерывно во все возрастающем объеме, а складывается из конечного числа локализованных в пространстве неделимых квантов энергии, поглощаемых или возникающих только целиком.

Ниже я излагаю ход мыслей и факты, натолкнувшие меня на этот путь, в надежде, что предлагаемая здесь точка зрения, возможно, принесет пользу и другим исследователям в их изысканиях...

Обычное представление о том, что энергия света распределяется в излучаемом пространстве непрерывно, при попытке объяснить фотоэлектрические явления сталкивается с особенно большими трудностями...

Представление о том, что возбуждающий свет состоит из квантов с энергией $\frac{R}{N}\beta\nu$, позволяет объяснить возникновение катодных лучей следующим образом[3]. В поверхностный слой тела проникают кванты, и энергия их, по крайней мере частично, превращается в кинетическую энергию электронов. Простейшим будет случай, когда один световой квант отдает всю свою энергию одному электрону; мы будем предполагать, что это происходит в действительности. Однако нельзя исключить и того, что электроны воспринимают энергию световых квантов лишь частично... Кроме того, мы предполагаем, что каждый электрон, покидая тело, должен совершить некоторую работу P (характерную для данного тела). С наибольшей нормальной составляющей скорости будут покидать тело те электроны, которые возбуждены у самой

поверхности и получили только нормальную компоненту скорости[4]. Кинетическая энергия этих электронов равна $\frac{R}{N}\beta\nu - P$.

...Если каждый квант возбуждающего света отдает свою энергию электронам независимо от всех других квантов, то распределение электронов по скоростям... не должно зависеть от интенсивности возбуждающего света; с другой стороны, количество электронов, покидающих тело, при прочих равных условиях должно быть пропорционально интенсивности возбуждающего света.

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Альберт Эйнштейн* (1879—1955) — один из основоположников физики XX в., создатель теории относительности. Впервые установил, что свет обладает, наряду с волновыми, также корпускулярными свойствами. Эйнштейну принадлежит также объяснение броуновского движения, работы по квантовой статистике и др.

Эйнштейн родился в г. Ульме (Германия) в семье инженера. С 14 лет поселился в Швейцарии. По окончании в 1900 г. Цюрихского политехникума работал учителем. В 1902 г. он получил место эксперта в патентном бюро в Берне. Здесь Эйнштейн работал до 1909 г., и именно на эти годы приходится его наиболее плодотворная научная деятельность (создание основ теории относительности, квантовой теории света, разработка теории броуновского движения). В 1909 г. Эйнштейн становится профессором Цюрихского университета (1909—1911), а затем занимает кафедру теоретической физики в немецком университете в Праге (1911—1912). В 1913 г. он был избран членом Прусской Академии наук и переехал в Берлин, где в течение ряда лет был профессором и директором физического института Берлинского университета.

В 1921 г. А. Эйнштейну была присуждена Нобелевская премия за разработку теории фотоэффекта.

Эйнштейна, решительного противника косности мышления во всех ее проявлениях, ненавидели реакционеры от науки и политики. Приход к власти фашистов сделало невозможным пребывание Эйнштейна в Германии.

В специальном альбоме фашистов после перечня «преступлений» Эйнштейна стояла пометка: «Еще не повешен». Спасло Эйнштейна то, что в 1933 г. он оказался в США, где читал лекции. Там он и остался жить, заняв место профессора Принстонского института высших исследований.

Загруженный до предела разработкой единой теории физических процессов (она до сих пор еще не создана), Альберт Эйнштейн горячо откликался на все вопросы, волнующие человечество. Он был последовательным и активным противником войн и гонки вооружений. Эйнштейн был членом академий наук многих стран и, в частности, иностранным членом Академии наук СССР (с 1926 г.).

[2] Имеется в виду волновая теория.

[3] Выражение $\frac{R}{N}\beta$ представляет собой постоянную Планка, выраженную через постоянные (R, N, β), входящие в классические законы излучения. Таким образом, в современных обозначениях энергия квантов равна $h\nu$.

[4] То есть электроны, приобретенная скорость которых перпендикулярна поверхности. *Нормальная* здесь означает перпендикулярная к поверхности тела.

ВАВИЛОВ[1]

Гипотеза о фотонах, выдвинутая Эйнштейном для объяснения фотоэффекта и некоторых других явлений, была впоследствии подтверждена экспериментами. В частности, выдающимся советским физиком С. И. Вавиловым были выполнены интересные экспериментальные исследования, подтвердившие двойственную природу света. При этом Вавиловым был разработан метод простого визуального наблюдения так называемых квантовых флуктуаций света, которые непосредственно свидетельствовали (или показывали) наличие у света корпускулярных свойств. Эти работы изложены в книге С. И. Вавилова «Микроструктура света» (1950 г.).



Сергей Иванович Вавилов

Из книги С. И. Вавилова «Микроструктура света»

Существование беспорядочной микроструктуры в световом потоке непосредственно должно обнаружиться статистическими отклонениями от средних значений (флуктуациями) в различных оптических свойствах потока. Для наблюдения таких флуктуаций необходимо экспериментировать с очень слабыми источниками света или световыми потоками. Два этих условия не равносильны для классического (волнового) и квантового рассмотрения вопроса.

Обычный источник света состоит из множества излучающих движущихся частиц, взаимодействующих одна с другой, соударяющихся, получающих новые импульсы к излучению или, наоборот, прекращающих излучать при ударах. Учитывая статистический хаос этих процессов, легко понять, что и в классическом рассмотрении задачи при относительно малом числе светящихся частиц и при наблюдении... за очень короткие промежутки времени необходимо ожидать статистических отклонений от среднего значения в световом потоке. Такие флуктуации будут выражением беспорядочности молекулярных движений светящейся среды. Важно, впрочем, отметить следующие особенности этих «классических» световых флуктуаций: прежде всего они определяются только процессами, происходящими внутри источника света, и не должны зависеть от мощности светового потока, попадающего в прибор...

Квантовая природа излучения в корне меняет характер флуктуационных явлений...

Основное свойство квантовых флуктуаций света, глубоко отличающее их от «классических» флуктуаций, состоит в том, что эти флуктуации света должны наблюдаться при любом состоянии постоянного источника света, если только достаточно велико разрежение наблюдаемого светового потока...

...Визуальное наблюдение и измерение (квантовых флуктуаций. — Прим. ред.) чрезвычайно облегчаются наличием резкого порога зрительного ощущения. Зрительный эффект в области порога изменяется прерывно, он очень быстро падает до нуля при некотором «порожном» значении световой энергии. Если бы темнового порога не было и зрительное ощущение только постепенно ослаблялось, то о наличии флуктуаций можно было бы судить только по трудно измеряемым быстрым колебаниям яркости вспышек (если световой поток исходит от источника, посылающего кратковременные вспышки света. — Прим. ред.). Вследствие наличия порога те вспышки, энергия которых меньше некоторой предельной величины, вообще не видны. Имеется, следовательно, очень резкий качественный признак флуктуаций: вспышки либо видны, либо нет...

Экспериментальная установка всех обычных интерференционных опытов такова, что статистическая микроструктура явления усредняется и остается скрытой. При визуальных наблюдениях применяются довольно мощные световые пучки, а при работе с очень слабыми интенсивностями интерференционная картина достигается фотографированием в течение очень длительного времени. В обоих случаях в итоге такого усреднения получается регулярное строение интерференционного поля.

Описанный в первой части метод визуальных измерений квантовых флуктуаций позволяет исследовать микроструктуру интерференционного поля.

...Свет от лампы накаливания... через зеленый светофильтр... падал на щель... в течение 0,1 с; в течение 0,9 с он прерывался. На пути лучей ставилась двойная щель Юнга[2] таким образом, что на сетчатке глаза, перед которым помещалась линза, появлялись интерференционные полосы. Между двойной щелью и линзой устанавливалась диафрагма с двумя круглыми отверстиями, располагавшимися... в серединах светлой и соседней темной полос...

При достаточно сильном свете в обеих открытых щелях Юнга видна вспышка в верхнем пятне (в момент, когда свет лампочки пропускался на щели.— Прим. ред.), нижнее пятно остается темным. Если верхняя часть двойной щели (верхняя щель. — Прим. ред.) закрывалась, то оба пятна светились в одинаковой мере (при каждой вспышке света. — Прим. ред.).

После того как... интенсивность света понижалась до значений, близких к зрительному порогу, регулярность процесса исчезала. Когда обе щели были открыты, то нижнее отверстие оставалось по-прежнему всегда темным, в то время как в верхнем наблюда-

лись флуктуации, т. е. вспышки нерегулярно появлялись (при пропускании света на щели.— Прим. ред.)... Иногда... оба отверстия оставались темными. Интерференционная картина сохраняла, следовательно, до некоторой степени свою регулярность и при этих условиях, поскольку темные места оставались всегда темными, на месте же светлой полосы интенсивность беспорядочно менялась. Когда закрывалась верхняя щель, то оба отверстия вспыхивали беспорядочно, флуктуации в них происходили независимо...

Перед наблюдателем в этом опыте с особенной наглядностью проявляется корпускулярно-волновая двойственность светового процесса.

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Сергей Иванович Вавилов* (1891—1951) — советский физик, академик АН СССР, с 1945 по 1951 г. — президент АН СССР.

С. И. Вавилов родился в Москве, в семье торгового служащего. Среднее образование получил в коммерческом училище, где проявил большие способности к физике, химии, литературе и иностранным языкам (изучил немецкий, французский, английский, итальянский и латинский языки). С 1909 по 1914 г. учился в Московском университете, где вошел в состав большой группы физиков, работающих под научным и идейным руководством П. Н. Лебедева. В лаборатории П. Н. Лебедева Вавилов выполнил свое первое научное исследование по оптике, за что несколько позднее получил золотую медаль Общества любителей естествознания, астрономии и этнографии при Московском университете.

После окончания университета С. И. Вавилов демонстративно отклонил приглашение остаться при кафедре физики, не пожелав остаться в университете, из которого ушел П. Н. Лебедев (см. биографическую справку о П. Н. Лебедеве на с. 140). Его призвали в армию и отправили на фронт, где он пробыл до 1918 г.

С 1918 по 1932 г. С. И. Вавилов работал в Московском университете (с 1929 г. — профессор) и одновременно (с 1918 по 1930 г.) заведовал отделением физической оптики в Институте физики и биофизики, а с 1932 г. он — директор Физического института АН СССР. Основные научные труды Вавилова посвящены вопросам физической оптики. Однако его интересы не ограничивались чисто научной работой. Свои собственные исследования и исследования учеников и сотрудников он подчинил поиску решений важнейших задач практики.

Вавилов уделял большое внимание исследованиям по истории науки, а также популяризации научных знаний. Он — один из инициаторов создания Всесоюзного общества «Знание» и первый председатель этого общества (1947 г.).

В 1938 г. С. И. Вавилов был избран депутатом Верховного Совета РСФСР, а в 1946 г. — депутатом Верховного Совета СССР. Имя Вавилова присвоено Институту физических проблем АН СССР в Москве и Государственному оптическому институту в Ленинграде. В 1951 г. учреждена золотая медаль имени Вавилова, присуждаемая ежегодно за выдающиеся работы в области физики.

[2] Имеются в виду две параллельные горизонтально расположенные щели, разделенные узким непрозрачным промежутком.

VI. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Одной из фундаментальных физических теорий современности является теория относительности. В течение длительного времени физики стремились определить скорость движения Земли относительно эфира, в котором, как предполагалось, распространяются электромагнитные волны, в частности свет. Однако все такие попытки оказались неудачными. В связи с этим голландский физик Лоренц ввел специальную гипотезу о сокращении тел при их движении в эфире. Возникали и другие теории, с помощью которых пытались объяснить отрицательный результат опытов по обнаружению движения Земли относительно эфира. Наконец, французский ученый Пуанкаре сформулировал принцип относительности, согласно которому никакие опыты не могут решить этой задачи, ибо, как утверждал Пуанкаре, «законы физических явлений будут одинаковы как для наблюдателя, находящегося в состоянии покоя, так и для наблюдателя, совершающего равномерное поступательное движение, так что мы не имеем и не можем иметь никаких средств, чтобы различить, находимся ли мы в таком движении или нет».

В 1905 г. вышла работа А. Эйнштейна «К электродинамике движущихся тел». В этой работе Эйнштейн подошел к данному вопросу с новой точки зрения. Он показал, что противоречия, которые возникли в оптике движущихся тел, разрешаются, если по-новому взглянуть на понятие пространства и времени. Исходя из нового подхода к понятию одновременности, Эйнштейн построил теорию относительности, которая явилась новой теорией пространства и времени.

После создания специальной теории относительности А. Эйнштейн создал так называемую общую теорию относительности. Эта теория является теорией тяготения. В ней представления о пространстве и времени получили дальнейшее развитие (пространственно-временные соотношения оказались связанными с тяготением).

Из статьи А. Эйнштейна «К электродинамике движущихся тел»

Известно, что электродинамика Максвелла в современном ее виде приводит в применении к движущимся телам к асимметрии, которая несвойственна, по-видимому, самим явлениям. Вспомним,

например, электродинамическое взаимодействие между магнитом и проводником с током. Наблюдаемое явление зависит здесь только от относительного движения проводника и магнита, в то время как, согласно обычному представлению, два случая, в которых движется либо одно, либо другое из этих тел, должны быть строго разграничены. В самом деле, если движется магнит, а проводник покоится, то вокруг магнита возникает электрическое поле, обладающее некоторым количеством энергии, которое в тех местах, где находятся части проводника, порождает ток. Если же магнит находится в покое, а движется проводник, то вокруг магнита не возникает никакого электрического поля, зато в проводнике возникает электродвижущая сила, которой самой по себе не соответствует никакая энергия, но которая — при предполагаемой тождественности относительного движения в обоих интересующих нас случаях — вызывает электрические токи той же величины и того же направления, что и электрическое поле в первом случае.

Примеры подобного рода, как и неудавшиеся попытки обнаружить движение Земли относительно «светоносной среды», ведут к предположению, что не только в механике, но и в электродинамике никакие свойства явлений не соответствуют понятию абсолютного покоя и даже, более того, к предположению, что для всех координатных систем, для которых справедливы уравнения механики, справедливы те же самые электродинамические и оптические законы... Это предположение (содержание которого в дальнейшем будет называться «принципом относительности») мы намерены превратить в предпосылку и сделать, кроме того, добавочное допущение, находящееся с первым лишь в кажущемся противоречии, а именно, что свет в пустоте всегда распространяется с определенной скоростью V, не зависящей от состояния движения излучающего тела. Эти две предпосылки достаточны для того, чтобы, положив в основу теорию Максвелла для покоящихся тел, построить простую, свободную от противоречий электродинамику движущихся тел. Введение «светоносного эфира» окажется при этом излишним, поскольку в предлагаемой теории не вводится «абсолютно покоящееся пространство», наделенное особыми свойствами, а также ни одной точке пустого пространства, в котором протекают электромагнитные процессы, не приписывается какой-нибудь вектор скорости.

Развиваемая теория основывается, как и всякая другая электродинамика, на кинематике твердого тела, так как суждения всякой теории касаются соотношений между твердыми телами (координатными системами), часами и электромагнитными процессами. Недостаточное понимание этого обстоятельства является корнем тех трудностей, преодолевать которые приходится теперь электродинамике движущихся тел...

Определение одновременности

Пусть имеется координатная система, в которой справедливы уравнения механики Ньютона. Для отличия от вводимых позже координатных систем и для уточнения терминологии назовем эту координатную систему «покоящейся системой».

Если некоторая материальная точка находится в покое относительно этой координатной системы, то ее положение относительно последней может быть определено методами эвклидовой геометрии с помощью твердых масштабов и выражено в декартовых координатах.

Желая описать движение какой-нибудь материальной точки, мы задаем значения ее координат как функций времени. При этом следует иметь в виду, что подобное математическое описание имеет физический смысл только тогда, когда предварительно выяснено, что подразумевается здесь под «временем». Мы должны обратить внимание на то, что все наши суждения, в которых время играет какую-либо роль, всегда являются суждениями об одновременных событиях. Если я, например, говорю: «Этот поезд прибывает сюда в 7 часов», — то это означает примерно следующее: «Указание маленькой стрелки моих часов на 7 часов и прибытие поезда суть одновременные события»*.

Может показаться, что все трудности, касающиеся определения «времени», могут быть преодолены тем, что вместо слова «время» я напишу «положение маленькой стрелки моих часов». Такое определение действительно достаточно в случае, когда речь идет о том, чтобы определить время лишь для того самого места, в котором как раз находятся часы; однако это определение уже недостаточно, как только речь будет идти о том, чтобы связать друг с другом во времени ряды событий, протекающих в различных местах, или, что сводится к тому же, установить время для тех событий, которые происходят в местах, удаленных от часов.

Желая определить время событий, мы смогли бы, конечно, удовлетвориться тем, что заставили бы некоторого наблюдателя, находящегося с часами в начале координат, сопоставлять соответствующее положение стрелки часов с каждым световым сигналом, идущим к нему через пустоту и дающим знать о регистрируемом событии. Такое сопоставление связано, однако, с тем неудобством, известным нам из опыта, что оно не будет независимым от местонахождения наблюдателя, снабженного часами. Мы придем к гораздо более практическому определению путем следующих рассуждений.

---

* Здесь не будет обсуждаться неточность, содержащаяся в понятии одновременности двух событий, происходящих (приблизительно) в одном и том же месте, которая должна быть преодолена также с помощью некоторой абстракции. — *Прим. автора.*

Если в точке A пространства помещены часы, то наблюдатель, находящийся в A, может устанавливать время событий в непосредственной близости от A путем наблюдения одновременных с этими событиями положений стрелок часов. Если в другой точке B пространства также имеются часы (мы добавим: «точно такие же часы, как в точке A»), то в непосредственной близости от B тоже возможна временная оценка событий находящимся в B наблюдателем. Однако невозможно без дальнейших предположений сравнивать во времени какое-либо событие в A с событием в B; мы определили пока только «A-время» и «B-время», но не общие для A и B «время». Последнее можно установить, вводя определение, что «время», необходимое для прохождения света из A в B, равно «времени», требуемому для прохождения света из B в A. Пусть в момент t_A по «A-времени» луч света выходит из A в B, отражается в момент t_B по «B-времени» от B к A и возвращается назад в A в момент t'_A по «A-времени». Часы в A и B будут идти, согласно определению, синхронно, если

$$t_B - t_A = t'_A - t_B.$$

Мы сделаем допущение, что это определение синхронности можно дать непротиворечивым образом и притом для сколь угодно многих точек и что, таким образом, справедливы следующие утверждения:

1) если часы в B идут синхронно с часами в A, то часы в A идут синхронно с часами в B;

2) если часы в A идут синхронно как с часами в B, так и с часами в C, то часы в B и C также идут синхронно относительно друг друга.

Таким образом, пользуясь некоторыми (мысленными) физическими экспериментами, мы установили, что нужно понимать под синхронно идущими, находящимися в различных местах покоящимися часами, и благодаря этому, очевидно, достигли определения понятий: «одновременность» и «время». «Время» события — это одновременное с событием показание покоящихся часов, которые находятся в месте события и которые идут синхронно с некоторыми определенными покоящимися часами, причем с одними и теми же часами при всех определениях времени.

Согласно опыту, мы положим также, что величина

$$2\frac{\overline{AB}}{t'_A - t_A} = V,$$

есть универсальная константа (скорость света в пустоте).

Существенным является то, что мы определили время с помощью покоящихся часов в покоящейся системе; будем называть это время, принадлежащее к покоящейся системе, «временем покоящейся системы».

Об относительности длин и промежутков времени

Дальнейшие соображения опираются на принцип относительности и на принцип постоянства скорости света. Мы формулируем оба принципа следующим образом.

1. Законы, по которым изменяются состояния физических систем, не зависят от того, к которой из двух координатных систем, движущихся относительно друг друга равномерно и прямолинейно, эти изменения состояния относятся.

2. Каждый луч света движется в «покоящейся» системе координат с определенной скоростью V, независимо от того, испускается ли этот луч света покоящимся или движущимся телом.

При этом

$$\text{Скорость} = \frac{\text{Путь луча света}}{\text{Промежуток времени}}$$

причем «промежуток времени» следует понимать в смысле определения... (приведенные выше.— Прим. ред.).

Пусть нам дан покоящийся твердый стержень, и пусть длина его, измеренная также покоящимся масштабом, есть l. Теперь представим себе, что стержню, ось которого направлена по оси X покоящейся координатной системы, сообщается равномерное и параллельное оси X поступательное движение (со скоростью v) в сторону возрастающих значений x. Поставим теперь вопрос о длине движущегося стержня, которую мы полагаем определенной с помощью следующих двух операций:

а) наблюдатель движется вместе с указанным масштабом и с измеряемым стержнем и измеряет длину стержня непосредственно путем прикладывания масштаба так же, как если бы измеряемый стержень, наблюдатель и масштаб находились в покое;

б) наблюдатель устанавливает с помощью расставленных в покоящейся системе синхронных... покоящихся часов, в каких точках покоящейся системы находится начало и конец измеряемого стержня в определенный момент времени t. Расстояние между этими двумя точками, измеренное использованным выше, но уже покоящимся масштабом, есть длина, которую можно обозначить как «длину стержня».

Согласно принципу относительности, длина, определяемая операцией «a», которую мы будем называть «длиной стержня в движущейся системе», должна равняться длине l покоящегося стержня.

Длину, устанавливаемую операцией «b», которую мы будем называть «длиной (движущегося) стержня в покоящейся системе», мы определим, основываясь на наших двух принципах, и найдем, что она отлична от l.

В обычно применяемой кинематике принимается без оговорок, что длины, определенные посредством двух упомянутых операций, равны друг другу, или, иными словами, что движущееся твердое тело в момент времени t в геометрическом отношении вполне может быть заменено тем же телом, когда оно покоится в определенном положении.

Представим себе, что к обоим концам стержня (A и B) прикреплены часы, которые синхронны с часами покоящейся системы, т. е. показания их соответствуют «времени покоящейся системы» в тех местах, в которых эти часы как раз находятся; следовательно, это часы «синхронны в покоящейся системе».

Представим себе далее, что у каждых часов находится движущийся с ними наблюдатель и что эти наблюдатели применяют к обоим часам... критерий синхронности хода двух часов. Пусть в момент времени t_A из A выходит луч света, отражается в B в момент времени t_B и возвращается назад в A в момент времени t'_A. Принимая во внимание принцип постоянства скорости света, находим:

$$t_B - t_A = \frac{r_{AB}}{V - v} \quad \text{и} \quad t'_A - t_B = \frac{r_{AB}}{V + v},$$

где r_{AB} — длина движущегося стержня, измеренная в покоящейся системе. Итак, наблюдатели, движущиеся вместе со стержнем, найдут, что часы в точках A и B не идут синхронно, в то время как наблюдатели, находящиеся в покоящейся системе, объявили бы эти часы синхронными.

Итак, мы видим, что не следует придавать абсолютного значения понятию одновременности. Два события, одновременные при наблюдении из одной координатной системы, уже не воспринимаются как одновременные при рассмотрении из системы, движущейся относительно данной системы.

Из статьи А. Эйнштейна «Теория относительности»

Перечислим кратко отдельные результаты, полученные до настоящего времени благодаря теории относительности. Она дает простую теорию принципа Допплера[2], аберрации[3]... Она говорит о справедливости уравнений поля Максвелла — Лоренца и для электродинамики движущихся тел. Законы отклонения быстрых катодных лучей и одинаковых с ними по природе β-лучей радиоактивных веществ, вообще законы движения быстро движущихся материальных частиц выводятся с помощью теории относительности без привлечения особых дополнительных гипотез.

Однако важнейший результат, достигнутый пока теорией относительности, — это вывод соотношения между инертной массой

физической системы и содержанием энергии в ней. Пусть тело обладает в некотором определенном состоянии инертной массой M. Если этому телу сообщается каким-то образом энергия E, то, согласно теории относительности, его инертная масса возрастает вследствие этого до значения

$$M+\frac{E}{c^2},$$

где c — скорость света в пустоте. Поэтому закон сохранения массы, считавшийся до сих пор справедливым, видоизменяется и объединяется в один закон с законом сохранения энергии. Этот результат говорит о том, что инертную массу M тела следует понимать как содержание энергии Mc^2. Прямого экспериментального подтверждения этого важного результата у нас пока нет, однако мы знаем частные случаи, для которых справедливость «закона инерции энергии» можно доказать, не прибегая к теории относительности[4]...

Общая теория относительности

Специальная теория относительности основана на идее, что определенные системы координат (инерциальные системы) являются равноправными для формулировки законов природы; к таким системам координат принадлежат те, в которых выполняется закон инерции и закон постоянства скорости света в пустоте. Но являются ли эти системы координат на самом деле выделенными в природе, или же эта привилегированность возникает вследствие несовершенного понимания законов природы? Конечно, закон Галилея на первый взгляд выделяет инерциальные системы из всех других движущихся систем координат. Но закон инерции обладает недостатком, который обесценивает этот аргумент.

...Представим себе часть пространства, свободную от действия сил в смысле классической механики, иными словами, достаточно удаленную от тяготеющих масс. Тогда в соответствии с механикой существует инерциальная система K, относительно которой масса M, предоставленная самой себе в рассматриваемой части пространства, движется прямолинейно и равномерно. Если теперь ввести систему координат K', равномерно ускоренную относительно системы K, то по отношению к системе K' масса M, предоставленная самой себе, будет двигаться не по прямой, а по параболе[5], подобно тому, как движется масса вблизи поверхности Земли под действием силы тяжести.

Можно ли отсюда заключить, что система K' (абсолютно) ускорена? Это заключение было бы неправомерным. Систему K' можно с таким же правом считать «покоящейся», предполагая лишь, что в системе K' существует однородное гравитационное поле, являющееся причиной ускоренного движения тел относительно K'.

Против такого утверждения можно было бы возразить, что не указаны массы, порождающие это гравитационное поле. Однако их можно считать бесконечно удаленными, не вступая в противоречие с основами механики Ньютона. Кроме того, мы не знаем, с какой точностью соответствует действительности закон тяготения Ньютона.

Одно обстоятельство говорит в пользу нашего утверждения. Относительно системы K' все массы, независимо от их конкретных физических и химических свойств, падают с одинаковым ускорением. Опыт показывает, что это справедливо и для гравитационного поля, причем с необычайной точностью. Примечательный факт, что мы знаем гравитационное поле как состояние пространства, в котором поведение тел такое же, как и в системе K', делает совершенно естественной гипотезу о том, что в системе K' существует гравитационное поле, по существу тождественное полям тяготения, порождаемым массами в соответствии с законом Ньютона.

При этом способе рассмотрения не существует никакого реального разделения на инерцию и гравитацию, поскольку ответ на вопрос о том, находится ли тело в определенный момент исключительно под действием инерции или под комбинированным воздействием инерции и гравитации, зависит от системы координат, т. е. от способа рассмотрения...

Простое рассуждение показывает, что путь луча света, распространяющегося в инерциальной системе K прямолинейно и равномерно, в системе координат K', совершающей ускорение поступательное движение, будет криволинейным. Отсюда мы заключаем, что лучи света искривляются гравитационным полем... Это следствие впервые было подтверждено во время солнечного затмения 1919 г. ...

Далее, исходя из лоренцева сокращения, которое выше было получено как следствие специальной теории относительности, можно сделать вывод о том, что расположение практически жестких тел в системе K описывается геометрией Евклида неточно и что скорость хода одинаково устроенных часов является функцией точки. Другими словами, в общей теории относительности не существует геометрии и кинематики, не зависящих от физических процессов, так как свойства масштабов и часов определяются гравитационным полем.

В разительном контрасте с глубоким изменением, внесенным общей теорией относительности в основы физики, находится ничтожное различие между количественными предсказаниями новой и старой теорий. Кроме уже упомянутого искривления лучей света в гравитационном поле Солнца, обнаруживаемого только при полном солнечном затмении, следует назвать еще медленное вращение эллиптической орбиты планеты Меркурий (40 с за 100 лет), которое нашло объяснение в общей теории относительности, но не могло быть объяснено в теории тяготения Ньютона.

Наконец, общая теория относительности предсказывает незначительный сдвиг спектральных линий света, испукаемого атомами на поверхности Солнца или неподвижных звезд, по сравнению со спектральными линиями света, испускаемого на поверхности Земли. Наблюдениями установлено, что существование этого эффекта является весьма вероятным, но пока еще не вполне достоверным.

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] Имеется в виду время в покоящейся системе и вместе с тем положение стрелки движущихся часов, которые находятся в том месте, о котором идет речь.

[2] Принцип Допплера гласит, что если источник света движется по направлению к наблюдателю или от него, то линии в спектре излучения этого источника смещаются в сторону фиолетового или красного концов спектра соответственно.

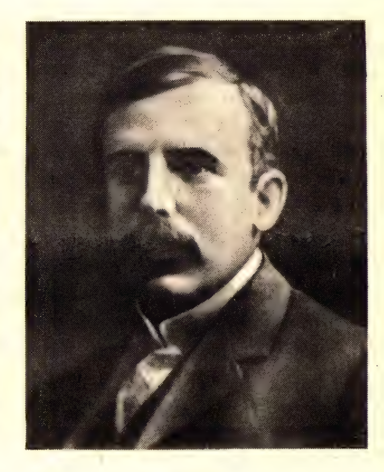
[3] В начале XVIII в. астрономы установили, что «неподвижные» звезды описывают на небесном своде в течение одного земного года эллипс с большой полуосью, одинаковой для всех звезд. Это явление названо аберрацией.

[4] Справедливость соотношения $E = mc^2$ была подтверждена впоследствии, при исследовании закономерностей ядерных реакций.

[5] В том случае, если направления скорости $\vec{v}$ тела в системе K и ускорения $\vec{a}$ системы K' относительно системы K не совпадают.

VII. ФИЗИКА АТОМА И АТОМНОГО ЯДРА

РЕЗЕРФОРД[1]



Эрнест Резерфорд

Первые экспериментальные результаты, на основе которых можно было сделать вывод о наличии внутри атомов электрических зарядов, были получены М. Фарадеем в 1833 г. при изучении законов электролиза. В 1897 г. Дж. Дж. Томсон экспериментально доказал существование внутри атомов всех химических элементов одинаковых отрицательно заряженных частиц — электронов. Дж. Дж. Томсон предполагал, что нейтральный атом состоит из положительного электрического заряда, равномерно распределенного по объему, и отрицательно заряженных электронов внутри этого объема.

Были и другие модели строения атома, в частности модель японского ученого Х. Нагаока, который полагал, что атом имеет планетарное строение: состоит из положительно заряженного ядра, вокруг которого вращается кольцо из большого числа электронов. Однако подобные представления не были подкреплены какими-либо опытными данными.

Сведения о внутренней структуре атомов были получены знаменитым английским физиком Э. Резерфордом при экспериментальном исследовании явления рассеяния быстрых заряженных частиц в тонких слоях вещества. По результатам этих опытов Резерфорд в 1911 г. сделал вывод о существовании внутри атома положительно заряженного ядра очень малых размеров. Создание ядерной модели строения атома явилось началом развития современной физики атома и атомного ядра.

Продолжая исследования рассеяния быстрых заряженных частиц в веществе, Резерфорд в 1919 г. обнаружил явление расщепления атомного ядра и тем самым впервые осуществил искусственное превращение атома одного химического элемента в атом другого химического элемента.

Ниже приводятся выдержки из двух статей Резерфорда.

Из статьи Э. Резерфорда «Рассеяние α- и β- частиц веществом и строение атома»

Хорошо известно, что α- и β-частицы при столкновениях с атомами вещества испытывают отклонения от прямолинейного пути. Это рассеяние гораздо более заметно у β-частиц, нежели у α-частиц, так как они обладают значительно меньшими импульсом и энергией. Поэтому нет сомнения в том, что столь быстро движущиеся частицы проникают сквозь атомы, встречающиеся на их пути, и что наблюдаемые отклонения обусловлены сильным электрическим полем, действующим внутри атомной системы. Обычно предполагалось, что рассеяние пучка α- или β-лучей при прохождении через тонкую пластинку вещества есть результат наложения многочисленных малых рассеяний при прохождении атомов вещества. Однако наблюдения, проведенные Гейгером[2] и Марсденом[3] по рассеянию α-лучей, показали, что некоторое количество α-частиц при однократном столкновении испытывает отклонение на угол, больший 90°. Они обнаружили, например, что небольшая часть падающих α-частиц, примерно 1 из 20 000, поворачивается в среднем на 90° при прохождении сквозь слой золотой фольги толщиной 0,00004 см, что эквивалентно тормозной способности α-частицы в 1,6 мм воздуха. Гейгер позднее показал, что наиболее вероятный угол отклонения пучка α-частиц, проходящих сквозь золотую фольгу указанной толщины, составляет около 0,87°. Простой расчет, основанный на теории вероятности, показывает, что вероятность отклонения α-частицы на 90° исчезающе мала. К тому же, как будет видно из дальнейшего, угловое распределение α-частиц при больших отклонениях не подчиняется вероятностному закону, если считать, что такие большие отклонения есть результат большого числа малых отклонений. По-видимому, разумнее предположить, что отклонения на большой угол обусловлены однократным атомным столкновением, так как вероятность такого же повторного столкновения в большинстве случаев чрезвычайно мала. Простой расчет показывает, что в атоме должно существовать сильное электрическое поле, чтобы при однократном столкновении создавалось столь большое отклонение.

Недавно Дж. Дж. Томсон предложил теорию, объясняющую рассеяние заряженных частиц при прохождении сквозь тонкие слои вещества. В ней предполагается, что атом состоит из N отрицательно заряженных электронов и равного количества положительного электричества, равномерно распределенного внутри сферы. Отклонение отрицательно заряженных частиц при прохождении через атом обусловлено двумя причинами: 1) отталкиванием от электронов, расположенных внутри атома; 2) притяжением положительного электричества атома... Теория Дж. Дж. Томсона основана на допущении, что рассеяние, обусловленное единичным атомным столкновением, мало и что предполагаемая



Рис. 1. *Волховская ГЭС им. В. И. Ленина, первенец ГОЭЛРО*

Рис. 2. *Красноярская ГЭС им. 50-летия СССР*



Рис. 3. *Первая в мире атомная электростанция, построенная в СССР (г. Обнинск)*

Рис. 4. *Первый в мире атомный ледокол «Ленин»*

структура атома не создает очень больших отклонений α-частиц при прохождении ими атома, если не предполагается, что диаметр сферы положительного электричества мал по сравнению с диаметром сферы влияния атома.

Поскольку α- и β-частицы пересекают атом, то из подробного изучения характера отклонений можно извлечь некоторые представления о структуре атома, создающего наблюдаемые эффекты. Действительно, рассеяние быстро движущихся заряженных частиц представляет собой один из наиболее перспективных методов решения этой проблемы. Появление сцинтилляционного метода счета отдельных α-частиц создает необычайные возможности для исследования, и опыты Гейгера с помощью этого метода уже многое внесли в наши знания о рассеянии α-частиц веществом...

...Рассмотрим теоретически однократные столкновения* с атомом простой структуры, способной обеспечить большие отклонения α-частицы, а затем сравним выводы из теории с имеющимися экспериментальными данными.

Рассмотрим атом, в центре которого имеется заряд $\pm Ne$, окруженный сферой электричества e зарядом $\pm Ne$, который, по предположению, равномерно распределен внутри сферы радиуса R (e — фундаментальная единица заряда, равная $4{,}65 \cdot 10^{-10}$ эл.-стат. ед.). Предположим, что на расстояниях, меньших 10^{-12} см, как центральный заряд, так и заряд α-частицы можно считать сосредоточенными в точке. Будет показано, что основные выводы теории не зависят от того, каков центральный заряд — положительный или отрицательный. Для удобства примем положительный знак. На данной стадии нет надобности рассматривать вопрос об устойчивости предполагаемого атома, так как это, по всей видимости, будет зависеть от деталей строения атома и движения входящих в его состав заряженных частей...

Как показывает простой расчет, при всех отклонениях, больших 1°, без заметной ошибки можно считать, что отклонение обусловлено только полем центрального заряда. Возможные однократные отклонения, обусловленные отрицательным электричеством, если оно распределено в виде частиц, на данной стадии теории не принимаются во внимание. Дальше будет показано, что обычно его влияние мало по сравнению с действием центрального поля.

...Измеренное Гейгером распределение рассеянных α-частиц под разными углами находится в хорошем согласии с теорией однократного рассеяния, и это распределение нельзя объяснить по теории сложного рассеяния.

---

* Отклонение частицы на значительный угол при столкновении с одним атомом в этой статье будет называться «однократным» рассеянием, а отклонение частицы вследствие множества малых отклонений — «сложным» рассеянием. — Прим. автора.

...Данные по рассеянию β-лучей, как и для α-лучей, показывают что центральный заряд в атоме приблизительно пропорционален атомному весу...

При сопоставлении ... теории с экспериментальными результатами предполагалось, что атом состоит из сконцентрированного в точке центрального заряда и что большие однократные отклонения α- и β-частиц обусловлены главным образом воздействием сильного центрального поля, через которое эти частицы проходят. Влиянием равного, но противоположного по знаку компенсирующего заряда, по предположению равномерно распределенного внутри сферы, мы пренебрегли.

Рассмотрим кратко некоторые данные, поддерживающие сделанные предположения. Для определенности рассмотрим прохождение быстро движущейся α-частицы сквозь атом, имеющий положительный центральный заряд Ne, который окружен компенсирующим зарядом N электронов. Помня, что масса, импульс и кинетическая энергия α-частиц намного больше соответствующих величин для быстродвижущегося электрона, из соображений динамики кажется невозможным, чтобы α-частица могла отклоняться под большим углом вследствие того, что близко подошла к электрону, даже если он быстро движется и удерживается большими электрическими силами. Разумно предположить, что вероятность однократных отклонений на большой угол в данном случае если и не равна нулю, то должна быть чрезвычайно мала по сравнению с рассеянием на центральном заряде.

Интересно проверить, насколько экспериментальные данные позволяют решить вопрос о размерах центрального заряда. Пусть, например, центральный заряд состоит из N единичных зарядов, распределенных по такому объему, что большое однократное отклонение обусловлено главным образом составляющими зарядами, а не внешним полем, образованным этими зарядами. В § 3 было показано, что доля α-частиц, рассеянных под большим углом, пропорциональна $(NeE)^2$ (где Ne — сосредоточенный в точке центральный заряд, E — заряд отклоненной частицы). Если, однако, эти заряды расположены в отдельных точках, то доля α-частиц, рассеянных под данным углом, пропорциональна Ne^2, а не N^2e^2. В этом расчете пренебрегается влиянием массы составных частиц и учитывается лишь действие электрического поля.

Было показано, что величина центрального точечного заряда для золота равна 100, поэтому величина распределенного заряда, необходимая для создания той же относительной доли однократных отклонений на большой угол, должна быть равна 10 000. В этих условиях масса составляющих частиц должна быть мала по сравнению с массой α-частиц, и сразу же возникают трудности получения больших однократных отклонений. Кроме того, при столь большом распределенном заряде относительная роль сложного рассеяния окажется более значительной, нежели однократного. Например, вероятный малый угол отклонения пучка α-час-

тиц, проходящих через тонкую золотую фольгу, должен быть намного больше наблюдавшегося экспериментально Гейгером... Таким образом, рассеяние на большой и малый углы нельзя объяснить на основе предположения о центральном заряде одной и той же величины.

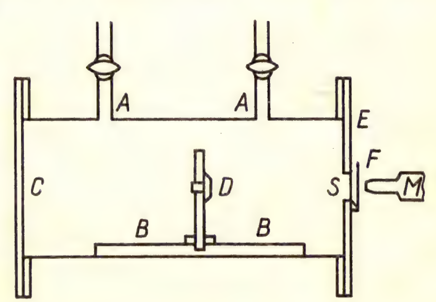
При рассмотрении данных в целом, по-видимому, наиболее простым является предположение, что атом имеет центральный заряд, распределенный по очень малому объему, и что большие однократные отклонения обусловлены центральным зарядом в целом, а не его составными частями.

Из статьи Э. Резерфорда «Столкновение α- частиц с легкими атомами»

Из ядерной теории строения атома следует, что ядра легких атомов при столкновениях с α-частицами должны приводиться в быстрое движение. Рассматривая эти соударения, можно просто показать, что в результате лобового столкновения атом водорода приобретает скорость, превышающую в 1,6 раза ту скорость, которую α-частица имела до удара, причем энергия атома водорода будет составлять 0,64 энергии падающей α-частицы. Такие *H*-атомы, летящие с большой скоростью, могут быть легко зарегистрированы с помощью метода сцинтилляций...

Экспериментальная установка

Для экспериментов с водородом и другими газами активный диск[4] *D* (см. рис.) устанавливался на соответствующей высоте параллельно экрану на металлической штанге *B*, вдвигавшейся в прямоугольный латунный ящик *A* длиной 18 см, высотой 6 см и шириной 2 см. По обеим сторонам ящика находились металлические направляющие, соответствующие расстоянию между прямоугольными полюсами большого электромагнита. Один конец закрывался шлифованной стеклянной пластинкой *C*, а другой — навощенной латунной пластинкой *E*, в центре которой имелось прямоугольное отверстие длиной 1 см и шириной 3 мм. Это отверстие закрывалось тонкой пластинкой из серебра, алюминия или железа, тормозная способность которых по отношению к α-частицам эквивалентна от 4 до 6 см воздуха. Экран *F* из сернистого цинка прикреплялся против отверстия на расстоянии 1—2 мм от металлической пластинки. С помощью двух кранов сосуд



наполнялся исследуемым газом либо путем откачки, либо вытеснением. Расположение экрана из сернистого цинка вне прибора имеет большие преимущества, так как этим исключается загрязнение улетучивающимся активным веществом и, кроме того, между металлической пластинкой и экраном легко могут вводиться поглощающие материалы.

Источник устанавливался в латунном сосуде на необходимом расстоянии от экрана, и откачивался воздух. Пройдя через металлическую пластинку *S*, α-частицы попадали на экран. Возникавшее при этом хорошо заметное свечение давало возможность установить микроскоп *M* в центре отверстия. Диаметр поля зрения (2 мм) был меньше ширины отверстия (3 мм).

Поскольку число наблюдавшихся *H*-атомов в обычных условиях было более чем в 100 раз меньше числа α-частиц, то обнаружить *H*-атомы, вылетевшие в направлении α-частиц, можно было только в том случае, когда α-частицы задерживались поглощающими экранами. Ближе 3 см от экрана устанавливать интенсивный источник было невозможно, так как под действием γ-излучения и быстрых β-лучей возникало свечение, мешавшее проводить счет слабых сцинтилляций. Для отклонения β-лучей, вызывающих хорошо заметное свечение экрана, требовалось сильное магнитное поле...

Аномальный эффект в азоте

...Если в объем вводился сухой кислород или углекислый газ, то число сцинтилляций уменьшалось примерно до величины, ожидаемой исходя из тормозной способности слоя газа.

Неожиданный эффект, однако, был обнаружен, когда ввели сухой воздух. Вместо уменьшения число сцинтилляций возросло и для поглощения, соответствующего около 19 см воздуха, это число стало примерно вдвое больше, чем в вакууме. Из этого эксперимента было ясно, что α-частицы при прохождении через воздух дают начало длиннопробежным сцинтилляциям, яркость которых глазу кажется примерно такой же, как яркость *H*-сцинтилляций. Для выяснения происхождения этих сцинтилляций был предпринят ряд систематических наблюдений. Прежде всего, как мы видели, прохождение α-частиц через азот и кислород приводит к возникновению многочисленных ярких сцинтилляций, имеющих пробег в воздухе около 9 см. Эти сцинтилляции соответствуют примерно пробегу, которого следует ожидать, если они обусловлены быстрыми *N*- или *O*-атомами, несущими единичный заряд и образующимися при столкновении с α-частицами. Поэтому все эксперименты были проведены с поглощением, большим 9 см воздуха, чтобы эти атомы поглотились раньше, чем достигнут экрана из сернистого цинка...

Аномальный эффект наблюдался в воздухе и не наблюдался в кислороде или двуокиси углерода, поэтому он должен быть вызван

азотом или другим газом, присутствующим в атмосферном воздухе...

В чистом азоте число длиннопробежных сцинтилляций в тех же условиях превышало число сцинтилляций в воздухе. В результате тщательных экспериментов было найдено, что отношение эффектов равно 1,25, т. е. той величине, которую и следовало ожидать, если сцинтилляции вызваны азотом.

Полученные до сего времени результаты показывают, что длиннопробежные сцинтилляции, наблюдаемые в воздухе, должны быть приписаны азоту, однако важно также показать, что они возникают в результате столкновения α-частиц с атомами азота в объеме газа. Прежде всего было установлено, что число сцинтилляций изменяется с давлением воздуха так, как и следует ожидать, если они возникают в результате столкновения α-частиц с атомами азота при прохождении частиц через слой газа...

Длиннопробежные атомы в азоте как по своему пробегу, так и по яркости сцинтилляций чрезвычайно похожи на Н атомы и, по всей вероятности, представляют собой атомы водорода. Однако, чтобы установить этот важный факт однозначно, необходимо определить отклонение этих атомов в магнитном поле. Несколько предварительных экспериментов было сделано методом, подобным применявшемуся при измерении скорости Н-атома...

На основе полученных результатов трудно удержаться от заключения, что длиннопробежные атомы, возникающие при столкновениях α-частиц с азотом, это не атомы азота, а, по-видимому, атомы водорода или атомы с массой 2. Если это действительно так, то мы должны сделать вывод, что атомы азота распадаются под действием громадных сил, развивающихся при близком столкновении с быстрой α-частицей, и что освобождающийся атом водорода образует составную часть ядра азота...

Если принять во внимание громадную энергию движения α-частицы, испускаемой радием С, то близкое столкновение такой α-частицы с легким атомом представляется наиболее подходящим средством разрушения ядра. Возникающие в ядре при столь близких столкновениях силы, по-видимому, наибольшие из всех, которые могут быть получены в настоящее время доступными способами. Если учесть огромные развивающиеся здесь силы, то не столь удивительно, что распадается атом азота, сколько то, что сама α-частица избегает разрушения на свои компоненты. В целом результаты указывают, что если экспериментально станет возможным получать α-частицы или подобные им снаряды еще большей энергии, то мы могли бы, вероятно, разрушить ядерные структуры многих легких атомов.

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Эрнест Резерфорд* (1871—1937) — английский физик, основоположник ядерной физики. Родился в семье небогатого фермера в Новой Зеландии.

В 1894 г. Э. Резерфорд окончил Новозеландский университет. В 1895—1898 гг. работал под руководством Дж. Дж. Томсона в Кавендишской лаборатории. В 1898—1907 гг. Резерфорд — профессор Мак-Гиллского университета в Монреале (Канада), в 1907—1919 гг. — профессор Манчестерского университета, а с 1919 г. — профессор Кембриджского университета и директор Кавендишской лаборатории. С 1903 г. — член Лондонского королевского общества, а в период с 1925 г. по 1930 г.— его президент. Резерфорд — почетный член Академии наук СССР и академии наук большинства стран мира. Он лауреат Нобелевской премии по химии (1908 г.).

Основные работы Резерфорда относятся к физике атома и атомного ядра. Он первым обнаружил (в 1899 г.), что излучение радиоактивных элементов имеет сложный состав; двум компонентам этого излучения он дал название α- и β-лучей. Позднее он установил природу α-лучей, отождествив α-частицы с двукратно ионизированными атомами гелия. В 1903 г. Резерфорд совместно с Ф. Содди создал теорию радиоактивного распада элементов и подтвердил ее рядом опытов.

На основе экспериментов с рассеянием α-частиц при прохождении через тонкие слои вещества Резерфорд сделал вывод о существовании в центре атома любого химического элемента положительно заряженного ядра очень малых размеров (порядка 10^{-14} м), в котором сосредоточена почти вся масса атома.

Резерфорд так описал открытие рассеяния α-частиц веществом: «Я должен признаться по секрету, что не верил, будто это возможно... Это было, пожалуй, самым невероятным событием, какое я когда-либо переживал в моей жизни. Это было почти столь неправдоподобно, как если бы Вы произвели выстрел по обрывку папиросной бумаги 15-дюймовым снарядом, а он вернулся бы назад и угодил в Вас».

В 1919 г. Резерфорд первым обнаружил возможность превращения атомов нерадиоактивных элементов в атомы других элементов под влиянием ударов α-частиц. Обнаруженная им ядерная реакция была реакцией превращения атома азота в атом кислорода при бомбардировке α-частицами.

В 1920 г. Резерфорд предсказал возможность существования нейтрона, а в 1933 г. совместно с М. Олифантом экспериментально (при осуществлении ядерных реакций) доказал справедливость закона взаимосвязи массы и энергии.

Восхищаясь экспериментами Резерфорда, известный своими исследованиями по строению атома японский физик Хантаро Нагаока в 1911 г. писал в письме к Резерфорду: «Я был поражен простотой аппаратуры, которую вы используете, и блестящими результатами, которые вы получаете... Мне представляется гением тот, кто может работать со столь примитивным оборудованием и собирать богатую жатву, далеко превосходящую то, что бывало добыто с помощью самых тонких и сложных устройств».

Экспериментальные и теоретические открытия Резерфорда являются основой современного учения о строении и свойствах атомов и атомных ядер.

Резерфорд воспитал большую школу физиков. Его учениками были Н. Бор, Г. Гейгер, О. Ган, Дж. Кокрофт, Г. Мозли, Дж. Чедвик; у него учились советские физики П. Л. Капица, Ю. Б. Харитон, А. И. Лейпунский, К. Д. Синельников.

• [2] *Гейгер Ханс* (1882—1945) — немецкий физик. Работал в 1907—1912 гг. в Манчестерском университете под руководством Э. Резерфорда.

[3] *Марсден Эрнест* (1889—1970) — новозеландский физик. Работал под руководством Э. Резерфорда в Манчестерском университете в 1911—1914 гг.

[4] Диск, на поверхность которого нанесено радиоактивное вещество, испускающее α-частицы.

БОР[1]

Свидетельством существования сложной внутренней структуры у атомов было открытие линейчатых спектров излучения и поглощения. После открытия электрона стала очевидной связь явлений излучения и поглощения света атомами с наличием в них электронов.

Основы современной теории атома заложил знаменитый датский физик Н. Бор. Для объяснения факта устойчивости атома Резерфорда и происхождения линейчатых спектров он ввел квантовые постулаты.

В работах Бора было дано теоретическое объяснение механизма ядерных реакций, включая и реакции деления тяжелых ядер. Ниже представлены выдержки из двух статей Бора.



Нильс Хендрик Давид Бор

Из статьи Н. Бора «О строении атомов и молекул»

Введение

Для объяснения результатов опытов по рассеянию α-частиц веществом Резерфорд выдвинул свою теорию строения атома. Согласно этой теории, атом состоит из положительно заряженного ядра и системы окружающих его электронов, удерживаемых силами притяжения ядра. Общий отрицательный заряд электронов равен положительному заряду ядра. В ядре содержится основная часть массы атома, а его линейные размеры исключительно малы по сравнению с линейными размерами всего атома. Число электронов в атоме приблизительно равно половине атомного веса. К этой модели атома нужно относиться с большим вниманием, ибо, как показал Резерфорд, предположение о существовании таких ядер необходимо для объяснения опытных данных по рассеянию α-лучей на большие углы.

При попытке объяснить некоторые свойства веществ на основе этой модели атома мы, однако, сталкиваемся с серьезными трудностями, вытекающими из кажущейся неустойчивости системы электронов. В ранее принятых моделях атома, например, пред-

ложенной Дж. Дж. Томсоном, эти трудности не возникали. По теории последнего, атом состоит из равномерно заполненного положительным электрическим зарядом шара, в котором электроны движутся по окружностям.

Основное различие между моделями, предложенными Томсоном и Резерфордом, заключается в том, что силы, действующие на электроны в модели Томсона, допускают определенные конфигурации и движения, обеспечивающие устойчивое равновесие системы; такие конфигурации, по-видимому, не существуют для модели Резерфорда. Суть обсуждаемого различия яснее всего проявляется, если заметить, что среди величин, характеризующих первый атом, имеется одна — радиус положительно заряженного шара — с размерностью длины, притом того же порядка, что и линейная протяженность атома, тогда как среди величин, характеризующих второй атом (заряды и массы электронов и положительного ядра), такая длина отсутствует, и ее нельзя определить с помощью перечисленных величин.

Способ рассмотрения проблемы такого рода претерпел, однако, за последние годы существенные изменения благодаря развитию теории теплового излучения и появлению прямых подтверждений в опытах над различными явлениями (теплоемкость, фотоэффект, рентгеновские лучи и т. д.) тех новых предположений, которые были введены в эту теорию. Обсуждение этого вопроса приводит к выводу, что классическая электродинамика, очевидно, неприменима для описания поведения систем атомных размеров. Что касается законов движения электронов, то представляется необходимым ввести в эти законы чуждую классической электродинамике величину, а именно постоянную Планка или, как ее часто называют, элементарный квант действия. Если ввести эту величину, то вопрос о стабильных конфигурациях электронов в атомах существенно меняется, так как размерность и величина этой постоянной таковы, что вместе с массой и зарядом частиц она позволяет определить длину нужного порядка[2]...

Часть первая

Связывание электронов положительным ядром

Недостаточность классической электродинамики для объяснения свойств атома на основе модели резерфордовского типа ясно проявляется при рассмотрении простейшей системы, состоящей из положительно заряженного ядра очень малого размера и электрона, движущегося по замкнутой орбите вокруг ядра. Ради простоты примем, что масса электрона пренебрежимо мала по сравнению с массой ядра, а скорость электронов мала по сравнению со скоростью света.

Сначала допустим, что излучение энергии отсутствует. В этом случае электрон будет двигаться по стационарным эллиптическим орбитам... Теперь рассмотрим влияние излучения энергии, как оно

обычно измеряется по ускорению электрона. В этом случае электрон уже не будет двигаться по стационарным орбитам. Энергия W будет непрерывно убывать, и электрон будет приближаться к ядру, описывая все меньшие орбиты со все возрастающей частотой; в то время как электрон в среднем выигрывает в кинетической энергии, система в целом теряет энергию. Этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока размеры орбит станут того же порядка, что и размеры электронов или ядра. Простой расчет показывает, что испускаемая во время указанного процесса энергия неизмеримо больше той, которая испускается при обычных молекулярных процессах.

Очевидно, что поведение такой системы совершенно отлично от того, что действительно происходит с атомной системой в природе. Во-первых, реальные атомы длительное время имеют определенные размеры и частоты. Далее представляется, что если рассмотреть какой-либо молекулярный процесс, то после излучения определенного количества энергии, характерного для изучаемой системы, эта система всегда вновь окажется в состоянии устойчивого равновесия, в котором расстояния между частицами будут того же порядка величины, что и до процесса.

Существенным пунктом планковской теории излучения является утверждение, что излучение энергии атомной системы происходит не непрерывно, как принято в классической электродинамике, а, напротив, определенными раздельными актами испускания. Количество испускаемой атомным вибратором энергии при каждом акте излучения равно $\tau h \nu$ (где τ — целое число, h — универсальная постоянная)...

Прежде чем перейти к изложению теории, совершенно необходимо еще раз привести рассуждения, характеризующие расчеты. ... Основные допущения ее следующие.

1. Динамическое равновесие системы в стационарных состояниях можно рассматривать с помощью обычной механики, тогда как переход системы из одного стационарного состояния в другое нельзя трактовать на этой основе.

2. Указанный переход сопровождается испусканием *монохроматического* излучения, для которого соотношение между частотой и количеством выделенной энергии именно такое, которое дает теория Планка...

Вся совокупность опытных данных указывает на то, что атом водорода состоит просто из единственного электрона, вращающегося вокруг положительного ядра с зарядом e. Восстановление атома водорода после того, как электрон был удален (например, при электрическом разряде в вакуумной трубке), соответствует... связыванию одного электрона положительным ядром... Мы получим для общего количества энергии, излученной при образовании стационарного состояния,

$$W_r = \frac{2\pi^2 m e^4}{\tau^2 h^2} .$$

Количество энергии, испускаемой при переходе системы из состояния, соответствующего $\tau=\tau_1$, в другое, где $\tau=\tau_2$, будет

$$W_{\tau_2}-W_{\tau_1}=\frac{2\pi^2me^4}{h^2}\left(\frac{1}{\tau_2^2}-\frac{1}{\tau_1^2}\right).$$

Предполагая теперь, что рассматриваемое излучение монохроматично и что количество испускаемой энергии равно $h\nu$, где ν — частота излучения, получаем $W_{\tau_2}-W_{\tau_1}=h\nu$, и отсюда

$$\nu=\frac{2\pi^2me^4}{h^3}\left(\frac{1}{\tau_2^2}-\frac{1}{\tau_1^2}\right),$$

Мы видим, что это соотношение объясняет закономерность, связывающую линии спектра водорода. Если взять $\tau=2$ и варьировать τ_1, то получим обычную серию Бальмера. Если взять $\tau_2=3$, получим в инфракрасной области серию, которую наблюдал Пашен и еще ранее предсказал Ритц. При $\tau_2=1$ и $\tau_2=4,5$ ... получим в крайней ультрафиолетовой и соответственно крайней инфракрасной областях серии, которые еще не наблюдались, но существование которых можно предположить.

Соответствие здесь как качественное, так и количественное. Если положить

$$e=4,7\cdot10^{-10},\ \frac{e}{m}=5,31\cdot10^{17}\ \text{и}\ h=6,5\cdot10^{-27},$$

то получим:

$$\frac{2\pi^2me^4}{h^3}=3,1\cdot10^{15}.$$

Эмпирическое значение сомножителя вне скобок в формуле (4) равно $3,290\cdot10^{15}$. Соответствие между теоретическим и наблюдаемым значениями лежит в пределах ошибок измерений постоянных, входящих в теоретическую формулу.

Из статьи Н. Бора «Превращения атомных ядер»

Раньше уже отмечалось, что для понимания типичных особенностей ядерных превращений, вызванных столкновениями материальных частиц, необходимо предположить, что первая стадия всякого процесса столкновения состоит в образовании промежуточной полустабильной системы из исходного ядра и падающей частицы. Надо также предположить, что избыток энергии в этом состоянии временно сосредоточивается в некоторых сложных движениях всех частиц составной системы. Возможный последующий развал этой системы с освобождением какой-либо элементарной или сложной ядерной частицы можно рассматривать с этой точки зрения как отдельное независимое событие, не связанное непосредственно с первой стадией процесса столкновения. Поэтому можно сказать, что конечный результат столкновения

зависит от конкуренции между всеми процессами распада и излучения составной системы, согласующимися с законом сохранения.

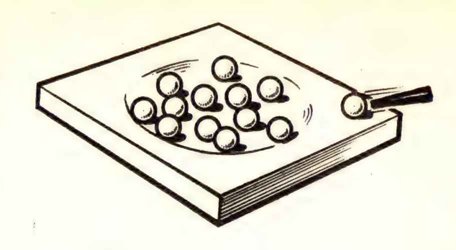


Рис. 1

Простая механическая модель, иллюстрирующая эти особенности ядерных столкновений показана на рисунке 1. В мелкой чаше находится некоторое число биллиардных шаров. Если бы углубление чаши было пустым, то посланный в нее шар скатился бы по одному склону и вышел бы с другой стороны с прежней энергией. Однако если в чаше находятся другие шары, то пущенный к ним шар не будет в состоянии свободно пройти через чашу; сначала он отдаст часть своей энергии одному из шаров, затем оба отдадут часть своей энергии другим шарам, и так до тех пор, пока первоначальная кинетическая энергия не окажется распределенной по всем шарам. Если бы углубление и шары можно было считать идеально гладкими и упругими, то столкновения продолжались бы до тех пор, пока достаточно большая часть кинетической энергии не оказалась снова сосредоточенной на близком к краю шаре. Тогда этот шар покинул бы чашу, и если бы энергия пущенного шара была не очень велика, то полная энергия оставшихся шаров была бы недостаточна для того, чтобы позволить какому-либо из них подняться по склону. Если, однако, между шарами и чашей существует даже очень малое трение или если шары не являются абсолютно упругими, то вполне может оказаться, что ни один из шаров не будет иметь возможности выйти из чаши, прежде чем вследствие трения потеряется в виде тепла достаточно много энергии, так что оставшейся энергии окажется уже недостаточно для выбрасывания какого-либо из них...

На первый взгляд, такая простая механическая трактовка противоречит факту, столь хорошо установленному при излучении γ-спектров, что ядра подобно атомам обладают дискретным распределением энергетических уровней: в приведенном выше обсуждении существенным являлось то, что составная система должна образовываться при практически любой кинетической энергии падающего нейтрона. Однако мы должны ясно представить себе, что при соударениях быстрых нейтронов мы имеем дело с возбуждением составной системы, гораздо большим энергии возбуждения обычных уровней, связанных с испусканием γ-лучей. В то время как последние достигают самое большее немногих миллионов электронвольт, возбуждение в первом случае будет значительно превышать энергию, необходимую для полного удаления нейтрона из ядра в нормальном состоянии, которую из измерений дефекта массы можно оценить примерно в 8 млн. эВ.

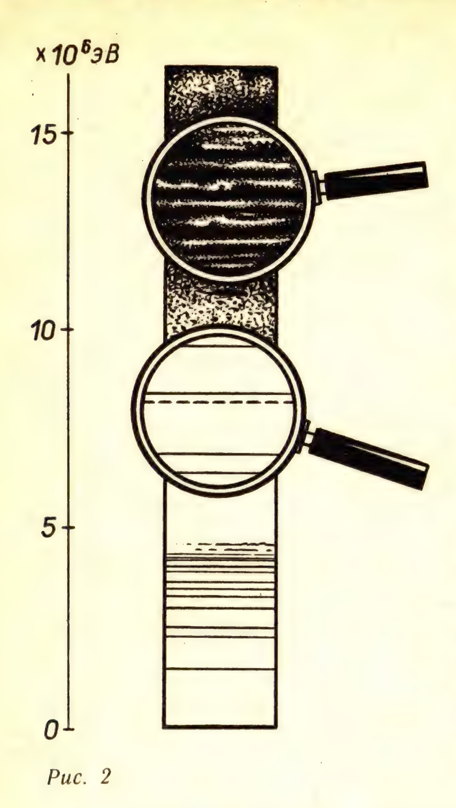


Рис. 2

Общий характер распределения уровней энергии тяжелого ядра схематически иллюстрируется на рисунке 2. Более низкие уровни, которые отстоят друг от друга в среднем на несколько сотен тысяч электронвольт, соответствуют уровням γ-лучей, найденным в радиоактивных ядрах. При увеличении возбуждения уровни быстро сближаются, а при возбуждении около 15 МэВ, соответствующем столкновению ядра с быстрым нейтроном, они распределены, вероятно, непрерывно. Характер строения верхней части схемы уровней показан с помощью двух линз с большим увеличением, показанных на диаграмме: одной в упомянутой выше области непрерывного распределения энергии и другой в области, соответствующей тому возбуждению, которое возникает в составной системе при присоединении очень медленного нейтрона к исходному ядру. Пунктирная линия в середине поля нижнего увеличительного стекла представляет энергию возбуждения составного ядра в том случае, когда кинетическая энергия падающего нейтрона в точности равна нулю. Поэтому расстояние от этой линии до основного состояния как раз равно энергии связи нейтрона в составной системе...

Распределение энергетических уровней, показанное на рисунке 2, очень сильно отличается по своему характеру от того, с которым мы знакомы в обычных атомных задачах, где вследствие слабой связи между отдельными электронами, которые связаны в поле, окружающем ядро, возбуждение атома обычно можно приписать более высокому квантовому состоянию отдельной частицы...

Термодинамические аналогии могут быть плодотворны также при обсуждении вопроса о распаде составной системы с освобождением материальных частиц. Так, случай эмиссии нейтронов, на которые за пределами собственно ядерных размеров не действуют никакие силы, представляет особенно удачную аналогию испарения жидкого или твердого тела при низкой температуре. Действительно, из приближенного знания системы уровней ядер при низких возбуждениях оказалось возможным получить оценку

«температуры» составного ядра, которая приводит к вероятности испарения нейтрона, согласующейся с полученным из экспериментальных данных временем жизни составного ядра, образующегося при столкновениях с быстрыми нейтронами.

Рисунок 3 иллюстрирует ход процесса столкновения между быстрым нейтроном и тяжелым ядром. Для упрощения рассуждений в ядро введен воображаемый термометр. Шкала термометра на рисунке дана в 10^{10}°C; но в качестве более известной меры тепловой энергии приведена и другая шкала, указывающая температуру в миллионах электронвольт. На рисунке показаны различные стадии процесса столкновения. Сначала исходное ядро находится в своем нормальном состоянии, и его температура равна нулю. После того как с ядром столкнется нейтрон с кинетической энергией примерно в 10 МэВ, образуется составное ядро с энергией возбуждения в 18 МэВ, и температура возрастает от нуля примерно до 1 МэВ. Неправильные очертания ядра символизируют колебания формы, соответствующие различным колебаниям, возбуждаемым при данной температуре. Следующий рисунок показывает, как нейтрон вылетает из возбужденной системы и, соответственно этому, несколько понижается температура. На последней стадии процесса оставшаяся энергия испускается в виде электромагнитного излучения, и температура падает до нуля.

Описанный выше ход процесса столкновения является наиболее вероятным в том случае, если энергия падающего нейтрона велика; но для более низких энергий нейтрона вероятности испускания нейтрона и излучения становятся одинаковыми по порядку величины, что приводит к значительной вероятности захвата нейтрона. Если мы, наконец, спускаемся до области очень медленных нейтронов, то, как известно из эксперимента, вероятность излучения становится даже гораздо больше вероятности испускания нейтрона. Однако ясно, что в этом случае аналогия между испусканием нейтрона и испарением будет совершенно неадекватной, так как механизм испускания, подобно образованию составного ядра, включает здесь специфические квантово-механические черты, которые не могут быть проанализированы столь простым путем.

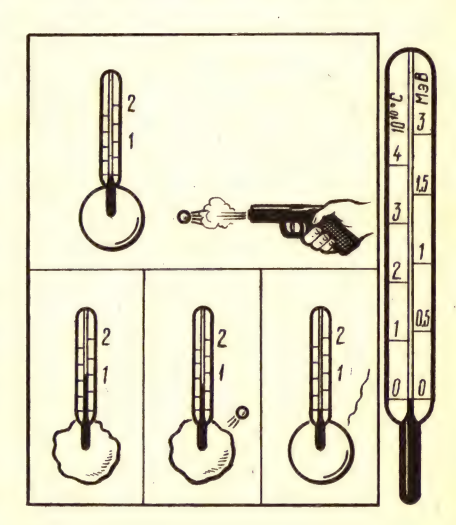


Рис. 3

Количественное сравнение обычного испарения и испускания нейтрона фактически можно провести только в тех случа-

ях, когда энергии возбуждения составной системы очень велики по сравнению с энергией, необходимой для удаления отдельного нейтрона, поскольку только в таких случаях возбуждение остаточного ядра после вылета нейтрона почти равно возбуждению составного ядра; это же предполагается в явлениях обычного испарения, где изменение количества тепла рассматриваемого тела при вылете отдельной молекулы газа пренебрежимо мало. Поэтому изложенные выше рассуждения в этой простой форме могут быть применены только тогда, когда изменение температуры при переходе от второй стадии (см. рис. 3) к третьей сравнительно мало...

Изложенные здесь простые соображения, по-видимому, действительно могут в общих чертах передать характерные особенности ядерных реакций, вызванных столкновениями. Нам также представляется вполне возможным объяснить характерные отличия в излучательных свойствах ядер и атомов с помощью подобного рассмотрения. Эти отличия основаны, по существу, на крайней легкости обмена энергией между тесно упакованными частицами ядра по сравнению с приближенно независимой связью каждого электрона в атоме. Более подробное обсуждение этих проблем, однако, требует более детального рассмотрения, которое лежит вне рамок настоящего краткого сообщения.

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Нильс Хендрик Давид Бор* (1885—1962) — датский физик, один из создателей современной физики.

В 1908 г. Н. Бор окончил Копенгагенский университет. В 1911—1912 гг. работал в Кембриджском университете под руководством Дж. Дж. Томсона и в Манчестерском университете под руководством Э. Резерфорда. С 1916 г.— профессор Копенгагенского университета, а с 1920 г. — директор Института теоретической физики в Копенгагене. За создание квантовой теории планетарного атома Н. Бор в 1922 г. стал лауреатом Нобелевской премии. С 1929 г. был иностранным членом АН СССР. Бор — почетный член многих академий наук различных стран мира. Основные работы Бора посвящены развитию квантовой теории, строению молекул, атомов и атомных ядер. Начало этому направлению положено в трех его статьях, опубликованных в 1913—1915 гг. Основываясь на представлениях о квантах энергии и действия, введенных в 1900 г. немецким физиком М. Планком, Бор выдвинул смелую гипотезу о неприменимости законов классической электродинамики в физике атома. Созданная Бором квантовая теория атома объясняла основные закономерности излучения и поглощения энергии атомами на основе двух квантовых постулатов. Согласно первому постулату, атом характеризуется стационарными состояниями, в которых электрон не излучает. Второй постулат устанавливает связь между значениями энергии начального и конечного состояний атома и частотой электромагнитного излучения, испускаемого или поглощаемого атомом. Теория Бора дала теоретическое объяснение периодического закона Менделеева.

Важным шагом в развитии квантовой теории была формулировка Бором

физического постулата, требующего совпадения результатов квантовой и классической теории в предельном случае, когда квантовые эффекты малы. Этот постулат называется принципом соответствия. Бору принадлежат большие заслуги в создании современной квантовой механики, особенно в развитии понимания ее основных понятий и принципов.

Значительный вклад был сделан Н. Бором и в развитие ядерной физики. Им создана теория промежуточного ядра, объясняющая механизм протекания ядерных реакций. Бор — один из авторов капельной модели ядра и теории деления атомного ядра.

Н. Бор создал большую школу физиков и много сделал для развития сотрудничества между физиками всего мира. Созданный им в 1920 г. институт в Копенгагене стал одним из важнейших мировых научных центров. Воспитанные в этом институте физики работают почти во всех странах мира. Бор принял участие в работе первой Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии. В 1957 г. ему была присуждена первая премия «Атом для мира».

[2] Речь идет о размерах (линейной протяженности) атома.

Из письма Э. Резерфорда Н. Бору

Манчестер
20 марта 1913 г.

Дорогой д-р Бор!

...Я прочел вашу работу с великим интересом, но мне хочется бережно просмотреть ее снова, когда у меня будет больше досуга. Ваши взгляды на механизм рождения водородного спектра очень остроумны и представляются отлично разработанными. Однако сочетание идей Планка со старой механикой делает весьма затруднительным физическое понимание того, что лежит в основе такого механизма. Мне сдается, что есть серьезный камень преткновения в вашей гипотезе, и я не сомневаюсь, что Вы полностью сознаете это, а именно: как решает электрон, с какой частотой он должен колебаться, когда происходит его переход из одного состояния в другое? Мне кажется, Вы будете вынуждены предположить, что электрон заранее знает, где он собирается остановиться.

ФРЕДЕРИК И ИРЕН ЖОЛИО-КЮРИ[1]

Представление об атомах как неизменных мельчайших частицах вещества было разрушено открытием электрона, а также явления естественного радиоактивного распада, открытого французским физиком Анри Беккерелем (1852—1908). Значительный вклад в изучение этого явления внесли выдающиеся французские физики Мария Склодовская-Кюри (1867—1934) и Пьер Кюри (1859—1906).



Фредерик Жолио-Кюри



Ирен Жолио-Кюри

Путем осуществления ядерных реакций при бомбардировке ядер атомов алюминия α-частицами известным французским физикам Фредерику и Ирен Жолио-Кюри в 1934 г. удалось впервые искусственно создать радиоактивные ядра.

Изучение искусственной радиоактивности привело Фредерика и Ирен Жолио-Кюри к открытию нового типа радиоактивности — позитронного β-распада.

Из статьи Фредерика и Ирен Жолио-Кюри «Новый вид радиоактивности»

Недавно нам удалось доказать методом камеры Вильсона, что некоторые легкие элементы (бериллий, бор, алюминий) испускают положительные электроны при бомбардировке их α-лучами полония. Согласно нашему истолкованию этого явления, эмиссия положительных электронов бериллием должна быть приписана внутренней материализации γ-излучения, в то время как положительные электроны, испускаемые бором и алюминием, являются электронами, возникающими в ядерной реакции и сопровождающими испускание нейтронов.

В ходе опытов по выяснению механизма этих явлений нами было обнаружено следующее.

Испускание положительных электронов некоторыми легкими элементами, подвергнутыми облучению α-лучами полония, продолжается в течение некоторого более или менее продолжительного времени после удаления источника α-лучей. В случае бора, например, это время достигает получаса.

Алюминиевая фольга помещается на расстояние 1 мм от по-

лониевого источника. После облучения, продолжавшегося в течение примерно 10 мин, фольга помещается над счетчиком Гейгера — Мюллера с окошком, закрытым алюминиевым листочком толщиной в 7/100 мм. При этом мы обнаружили, что фольга испускает некоторое излучение, интенсивность которого убывает экспоненциально со временем с периодом полураспада, равным 3 мин и 15 с. Аналогичный результат был получен с бором и магнием, у которых оказались другие периоды полураспада: у бора — 14 мин, а у магния — 2 мин 30 с.

Интенсивность излучения (измеренная немедленно после облучения α-лучами) возрастает при увеличении продолжительности облучения, приближаясь к некоторому предельному значению.

Для полониевого источника активностью в 60 милликюри[2] начальные интенсивности, измеренные счетчиком, оказываются одного порядка для B, Mg, Al и равны примерно 150 импульсам в минуту.

Для элементов H, Li, C, Be, N, O, F, Na, Ca, Ni и Ag отсутствовал какой-либо эффект[3]. Возможно, что у некоторых из этих элементов наблюденное нами явление не возникает совсем, а у других сопровождается чересчур малым периодом полураспада.

При уменьшении энергии α-лучей, бомбардирующих алюминий, количество положительных электронов уменьшается, но период полураспада при этом, по-видимому, не изменяется. При уменьшении энергии α-лучей до 10^6 эВ электроны почти не наблюдаются.

Эти опыты доказывают существование нового типа радиоактивности, сопровождаемой испусканием положительных электронов. Мы полагаем, что в случае алюминия реакция происходит следующим образом:

$$^{27}_{13}\mathrm{Al} + ^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow ^{30}_{15}\mathrm{P} + ^{1}_{0}n.$$

Изотоп фосфора $^{30}_{15}\mathrm{P}$ является радиоактивным. Он обладает периодом полураспада 3 мин 15 с и испускает положительные электроны, согласно реакции

$$^{30}_{15}\mathrm{P} \rightarrow ^{30}_{14}\mathrm{Si} + e^{+}.$$

Для бора и магния можно себе представить аналогичные реакции, приводящие к образованию неустойчивых ядер $^{13}_{7}\mathrm{N}$ и $^{27}_{14}\mathrm{Si}$. Изотопы $^{13}_{7}\mathrm{N}$, $^{27}_{14}\mathrm{Si}$, $^{30}_{15}\mathrm{P}$ не наблюдаются в природе, так как они могут существовать только в течение очень короткого времени...

Таким образом, в настоящей работе удалось впервые при помощи внешнего воздействия вызвать у некоторых атомных ядер радиоактивность, которая сохраняется в течение измеримого времени в отсутствие возбуждающей причины.

Радиоактивности, аналогичные наблюденным нами, безусловно могут быть получены при помощи бомбардировки другими частицами. Несомненно, что один и тот же радиоактивный атом можно было бы получить в результате различных ядерных реакций.

Из статьи Ф. Жолио-Кюри «Экспериментальные доказательства аннигиляции положительных электронов»

Положительные электроны наблюдаются всегда в течение очень короткого времени после их образования, когда они еще находятся в быстром движении. Следует выяснить вопрос, во что превращаются электроны после того, как они потеряли свою скорость.

Согласно теории Дирака, положительный электрон при столкновении со свободным или слабо связанным отрицательным электроном может исчезать, образуя два фотона, испускаемых в противоположных направлениях. Энергия каждого из фотонов составляет $0{,}5 \cdot 10^6$эВ; сумма этих энергий, равная 10^6эВ, соответствует аннигиляции массы двух электронов.

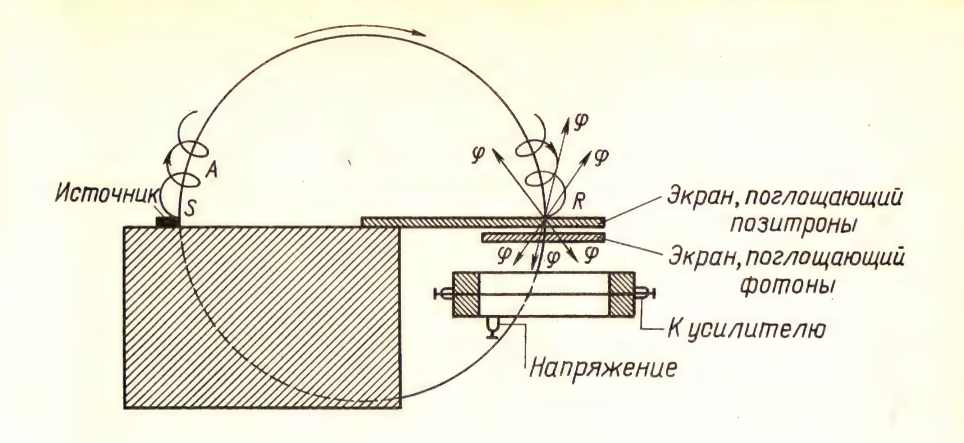
Время жизни положительного электрона менее 10^{-9} с ...

При столкновении положительного электрона с электроном, сильно связанным с ядром, аннигиляция должна происходить с испусканием одного фотона с энергией 10^6эВ. Вероятность этого процесса, вычисленная теоретически, согласно Ферми и Уленбеку, значительно меньше вероятности первого, указанного выше процесса...

Если такая интерпретация возможна в случае фотонов с энергией $0{,}5 \cdot 10^6$эВ, то, по-видимому, она не подходит для фотонов 10^6эВ, поскольку наблюдаемая интенсивность (1/3 от интенсивности излучения с энергией $0{,}5 \cdot 10^6$ эВ) гораздо выше, чем это предсказывает теория.

Предпринятые мной и описанные в данной заметке опыты дали результаты, согласующиеся с предсказаниями теории Дирака относительно аннигиляции позитронов.

Сильный источник позитронов (80 милликюри) в виде слоя полония, нанесенного путем испарения на алюминиевую подложку и покрытого слоем алюминия[4], помещается между полюсными наконечниками электромагнита вблизи от края, где поле неоднородно... Положительные электроны движутся по циклоиде, смещаясь вдоль окружности с центром, лежащим на оси полюсных наконечников, и попадают на свинцовый или алюминиевый экран, установленный над счетчиком Гейгера — Мюллера. Радиатор и счетчик защищены от слабого γ-излучения, испускаемого источником, толстым свинцовым экраном, установленным в межполюсном пространстве магнита.



В зависимости от направления магнитного поля на радиатор попадают либо положительные, либо отрицательные электроны, испускаемые источником. В счетчике имеется небольшое отверстие, закрытое алюминиевой фольгой. Вначале, в отсутствие радиатора, я определил число положительных и отрицательных электронов, попадающих в то место, где расположен радиатор ($5 \cdot 10^3$ положительных электронов и $2 \cdot 10^3$ отрицательных электронов в минуту).

При установленном радиаторе производится ряд перекрестных измерений, закрывая источник слоем свинца толщиной в 3 мм и открывая его. При поглощении положительных электронов слоем свинца толщиной в 1,5 мм наблюдается увеличение числа зарегистрированных частиц на 16%. Никакой заметной разницы в счете не наблюдается, если поглощаются не положительные, а отрицательные электроны. Установка между радиатором и счетчиком свинцовых экранов все возрастающей толщины показывает, что интенсивность наблюдаемого излучения в первом случае уменьшается экспоненциально. Коэффициент массового поглощения в свинце равен 0,24. Соответствующее значение энергии испускаемых фотонов составляет $(485\,000 \pm 60\,000)$ эВ.

Интенсивность испускаемого излучения не зависит от природы радиатора (Pl, Al). Расчет показывает, что число квантов, испускаемых излучателем внутри телесного угла 2π, одного порядка с числом позитронов, попадающих на радиатор...

Итак, эти опыты ясно показывают, что при поглощении положительных электронов в веществе наблюдается испускание веществом фотонов с энергией, близкой к $0{,}5 \cdot 10^6$ эВ, в количестве, приблизительно равном удвоенному числу падающих положительных электронов.

Следовательно, можно заключить, что процесс аннигиляции положительных электронов, предположенный Дираком, подтверждается этими опытами.

[1] *Фредерик Жолио-Кюри* (1900—1958) — французский физик, лауреат Нобелевской премии (1935 г.), иностранный член Академии наук СССР (1947 г.).

Ф. Жолио-Кюри родился в Париже. Его отец — рабочий металлист, сражался в рядах парижских коммунаров. Ф. Жолио-Кюри окончил в 1923 г. Школу физики и прикладной химии, где он занимался у П. Ланжевена. Научную деятельность начал в лаборатории М. Склодовской-Кюри. В 1930 г. он защитил докторскую диссертацию. Преподавал в Сорбонне и в 1937 г. в Коллеж де Франс. Ф. Жолио-Кюри возглавлял ряд научных учреждений, а также руководил (1946—1950 гг.) Комиссариатом по атомной энергии.

Совместно с Ирен Жолио-Кюри им было открыто явление искусственной радиоактивности и одновременно новый тип радиоактивности — позитронный β-распад. Ими выполнены экспериментальные исследования явлений образования пар электрон — позитрон из γ-квантов и аннигиляции позитронов. В 1939 г. Ф. Жолио-Кюри совместно с другими французскими физиками установил, что при делении ядра урана освобождается в среднем более двух нейтронов, которые в свою очередь могут вызывать деление других ядер урана. Тем самым доказана принципиальная возможность осуществления цепной реакции деления ядер урана.

Ф. Жолио-Кюри — прогрессивный общественный деятель, один из основателей и лидеров всемирного движения сторонников мира. С 1942 г. он член Французской компартии, с 1947 г. — президент общества «Франция — СССР». Жолио-Кюри — лауреат Международной Ленинской премии «За укрепление мира между народами» (1951 г.). С 1956 г. он член ЦК французской компартии.

Ирен Жолио-Кюри (1897—1956) — французский физик, лауреат Нобелевской премии (1935 г., совместно с Ф. Жолио-Кюри).

Родилась в Париже. Ее родители — известные ученые — Пьер Кюри и М. Склодовская-Кюри. И. Жолио-Кюри в 1920 г. окончила Парижский университет и начала работать в лаборатории М. Склодовской-Кюри. В 1925 г. защитила докторскую диссертацию. После смерти М. Склодовской-Кюри Ирен Жолио-Кюри приняла (в 1934 г.) заведование ее кафедрой в Парижском университете.

Совместно с Фредериком Жолио-Кюри открыла явление искусственной радиоактивности и явление образования пар электрон — позитрон из γ-квантов. Она внесла также важный вклад в изучение деления атомных ядер.

Ирен Жолио-Кюри — прогрессивный общественный деятель. В годы фашистской оккупации (1940—1944) приняла активное участие в борьбе французского народа против фашистских захватчиков. С 1946 г. она вела значительную работу по мирному использованию атомной энергии. Она член Всемирного Совета Мира, участник международного женского конгресса (1945 г.), а также 1-го (1949 г.) и 2-го (1950 г.) Всемирных конгрессов сторонников мира.

[2] В СИ активность выражается в беккерелях (Бк): $1\ \text{Бк} = 1\ \frac{\text{распад}}{\text{с}}$; 1 милликюри (старая единица активности) $= 3{,}7 \cdot 10^7$ Бк.

[3] Следовательно, это явление не может быть приписано загрязнению полониевым источником.

[4] Алюминий, бомбардируемый α-частицами полония, является источником позитронов.

ФЕРМИ[1]


Энрико Ферми

Исследования, связанные со строением и свойствами атомов и ядер, с их взаимными превращениями привели к открытию процесса деления атомных ядер в результате захвата ими нейтронов, высвобождения при делении ядер новых нейтронов в количестве, превышающем количество захваченных нейтронов и возможности на этой основе самоподдерживающейся цепной ядерной реакции. История этих открытий, приведших к созданию ядерного реактора (устройства, в котором протекает регулируемая самоподдерживающаяся цепная реакция деления ядер некоторых тяжелых элементов, вызываемая нейтронами), тесно связана с именем выдающегося итальянского физика Энрико Ферми.

Ниже приводятся отрывки из статей Э. Ферми «Нейтрон», опубликованной в 1950 г., и «Создание первого ядерного котла», написанной в 1945 г.

Из статьи Э. Ферми «Нейтрон»

...Нейтрон — сравнительно тяжелая частица, имеющая массу, равную одной массовой единице, и, как известно, нулевой заряд, которому он обязан своим названием. Его огромное значение в строении вещества было понято почти немедленно после открытия; атомные ядра состоят из различного числа протонов и нейтронов, определяющих их заряд и массу...

Примерно в 1934 г. супруги Жолио-Кюри сделали весьма важное открытие: бомбардируя некоторые вещества α-частицами, они открыли, что после бомбардировки в веществах возникает искусственная радиоактивность, т. е. вещества становятся радиоактивными. Это было исключительно важное открытие: радиоактивность перестала подчиняться кажущемуся закону независимости от внешних воздействий, «не позволявшему» воспроизвести ее; только после открытия Жолио-Кюри ее удалось создать искусственно...

Чтобы вызвать искусственную радиоактивность с помощью нейтронов, достаточен весьма простой опыт, который легко выполнить, имея маленький источник нейтронов. Опыт выполняется следующим образом. В непосредственной близости от источника нейтронов помещается пластинка алюминия или железа, или вообще того элемента, который желательно изучить, и оставля-

ется на некоторое время, которое может составлять минуты, часы, дни (в зависимости от случая). Нейтроны, вылетающие из источника, ударяют в какие-либо из ядер вещества. При этом происходит множество реакций самого различного типа. В грубых чертах их можно описать так. Когда нейтрон приближается к ядру бомбардируемого элемента, он не отталкивается из-за своей нейтральности. Этим значительно увеличивается вероятность его присоединения к ядру. Конечно, ядро мало, и поэтому трудно в него попасть, но ядро, так сказать, не защищается. Когда нейтрон сталкивается с ядром, могут произойти различные явления. Может случиться так, что нейтрон будет просто поглощен ядром и произойдет возбуждение последнего, после чего оно может испустить электромагнитное излучение в форме гамма-лучей и превратиться в ядро, вес которого на единицу больше. Эта реакция обычно обозначается символом (n, γ). Другими из числа наиболее обычных реакций являются реакция (n, p) (захват нейтронов и вылет протона) и реакция (n, α) (захват нейтрона и вылет α-частицы). Имеются и другие реакции, но здесь мы не будем их приводить.

Во всех этих реакциях образуется ядро, отличное от исходного, потому что в одном случае нейтрон присоединяется к ядру, а в других случаях он обменивается на протон или на α-частицу. Обычно исходят из устойчивого ядра, причем в большинстве случаев приходят к неустойчивому, т. е. радиоактивному, ядру. Радиоактивность может быть измерена экспериментальными методами весьма большой чувствительности, в частности счетчиками Гейгера — Мюллера. Счетчик регистрирует распад атомов за несколько секунд или минут, поэтому явление, количественно очень слабое, в действительности весьма легко наблюдаемо. Автор должен сознаться, что в то время он был преимущественно физиком-теоретиком, поэтому если нам иной раз и удавалось проводить крайне простые опыты, то едва опыт становился немного сложнее, как он выходил за пределы наших экспериментальных возможностей. В таких случаях помощь оказывали коллеги... Наша группа имела счастье произвести то, что можно назвать случайным открытием. Был один опыт, на который автор, откровенно говоря, даже не рассчитывал, хотя, будучи физиком-теоретиком, и должен был бы предвидеть, что произойдет; однако открытие было случайным и его не искали. Речь идет об открытии так называемых медленных нейтронов.

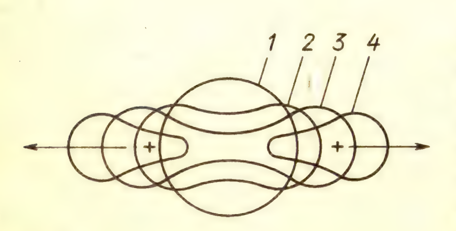
Проводимые в тот период опыты были не полностью воспроизводимы, так как нельзя было достигнуть абсолютно идентичных условий. В связи с этим опыты носили несколько случайный характер. Все же наблюдались различия, казавшиеся необъяснимыми. Именно активность в примерно одинаковых случаях получалась иногда малой, а то вдруг большой. Случалось, наконец, что, помещая облучаемую пластинку достаточно далеко от источника, так, что активность должна была бы получиться почти неиз-

меримой, мы, напротив, измеряли определенную активность. Поскольку явление, хотя и странное, можно было воспроизвести, мы стали производить серию наблюдений, помещая активируемые объекты один за другим, в надежде напасть на такие обстоятельства, которые дадут ключ к решению проблемы. И ключ нашелся, когда между облучаемым объектом и источником оказался маленький кусочек парафина. Этот кусочек парафина увеличивал интенсивность немедленно, хотя и немного. Поэтому возник вопрос: если это делает малое количество парафина, что же сделает большое количество?

Помещая все большее и большее количество парафина, мы, в самом деле, увеличивали эффект: интенсивность увеличивалась примерно в 20—50 раз... Потом стало понятно, что это странное явление, вероятно, должен был бы ожидать физик-теоретик; это был эффект замедления нейтронов. Замедление происходит в парафине, содержащем в весьма значительной доле водород. Явление, которое совершенно сходным образом производится водой, состоит в следующем. Описанный нами источник нейтронов, как и почти все источники нейтронов, испускает нейтроны с довольно большой энергией (в общем случае порядка миллиона вольт). Но если эти нейтроны попадают в парафиновый блок или в сосуд с водой, они сталкиваются с атомами водорода, а так как нейтрон и водородный атом с большим приближением имеют одинаковую массу, получается примерно случай, аналогичный случаю столкновения биллиардных шаров. Кинетическая энергия толкающего шара распределяется в среднем на равные части между обоими шарами, так что первый шар уходит приблизительно с половиной своей начальной энергии; то же происходит при последующих столкновениях. Энергия каждый раз уменьшается примерно вдвое и таким образом постепенно становится малой. В случае нейтрона энергия должна была бы совсем обратиться в нуль, если бы в некоторый момент не вмешивалось тепловое возбуждение. Так как водородные атомы в воде и в парафине находятся в тепловом возбуждении, замедление не происходит безгранично, а прекращается, когда энергия нейтрона становится такой, что нейтрон приходит в тепловое равновесие со средой; образуется нечто вроде раствора нейтронов в воде. Конечно, раствор получается весьма разбавленный и, кроме того, совсем особенный: в то время как обычные растворы могут сохраняться в сосудах, не существует, к сожалению, сосудов, способных удерживать нейтроны. Когда нейтрон подходит к стенке сосуда, содержащего воду, он выходит наружу, так что получается раствор в состоянии непрерывной диффузии наружу; кроме того, в этом растворе растворенное вещество непрерывно исчезает, так как нейтроны, сталкиваясь с атомами водорода, частично захватываются. Нейтрон в воде живет около 200 мкс; такое время достаточно, чтобы получить раствор с весьма большой активирующей способностью...

В наших опытах того периода по поглощению среди прочих облучаемых элементов был уран; было отмечено, что он ведет себя странно, но мы не предвидели, насколько странным окажется его поведение. Облучение урана в действительности дает много активностей; мы пытались, с нашей довольно примитивной химией, идентифицировать элементы, ответственные за каждую из этих активностей, но этого нам не удалось. Выявилось, что активность такого характера всегда была вызвана не теми элементами, которые исследовались. Мы исследовали уран, протактиний, торий и постепенно по периодической системе дошли до эманации, но не нашли такой же активности. Тогда мы решили, что образуются трансурановые элементы. Трансурановые элементы, как известно, действительно образуются, но совсем другим образом и не в тех условиях, как мы тогда думали. Разгадка этого странного поведения урана была найдена Ганом и Штрассманом, которые установили, что ошибка наших опытов состояла в том, что мы пренебрегли исследованием элементов в области средних значений атомных весов[2]. И действительно, эти авторы нашли, что в упомянутом явлении деления урана образуются элементы середины периодической системы. Схема их образования приблизительно следующая. Ядро урана, которое мы предполагаем шарообразным, сплющивается от удара нейтрона, и форма ядра испытывает периодические изменения, в результате чего оно становится менее устойчивым и иногда совсем выходит из равновесия, удлиняясь так сильно, что возвращающая сила уже не способна восстановить его сферическую форму; форма ядра проходит последовательность конфигураций 1, 2, 3 и, наконец, ядро делится на две части. Получающиеся осколки почти одинаковы, обычно один несколько тяжелее, хотя они и одного порядка величины. Оба радиоактивных осколка разлетаются в разные стороны. Действительно, оба они положительны, и как только соединяющая их шейка разрывается, электростатическое отталкивание удаляет их друг от друга, сообщая им огромную энергию; это и есть основной источник большой энергии, получающейся при делении.

Автору явление деления стало известно в январе 1939 г. Естественно, в физике был период оживления: во многих лабораториях экспериментаторы спешно исследовали особые свойства этого нового типа разложения ядер. Тогда мы впервые поняли, что явление такого рода открывает перед ядерной физикой большие перспективы.



У автора возникла идея, подтвержденная дальнейшими опытами: в результате деления ядра на два осколка могут образоваться еще нейтроны, подобно тому как при разрыве капли иной раз получаются мелкие брызги. Тогда как след-

ствие может оказаться, что нейтрон, произведший деление, образует в среднем, допустим, еще два, так что становится возможной цепная реакция. В ней из начального нейтрона путем последовательного удвоения может получиться произвольно большое число их, пока остается уран для деления.

Эта идея много обсуждалась. Стали искать подтверждение вышеуказанной гипотезы. Экспериментальное доказательство дал Жолио с несколькими своими сотрудниками, группа, работавшая с нами в Колумбийском университете, и, более или менее независимо, Сциллард с сотрудниками. С тех пор автор настоящих лекций на многие годы посвятил всю свою деятельность экспериментам такого типа, чтобы выяснить, к чему можно прийти. В частности, следует отметить, что еще в сравнительно ранний период исследований была получена цепная реакция в устройстве, где нейтроны замедлялись графитом. Это устройство — атомный котел; оно состояло из большой массы графита, в которой надлежащим образом размещались куски урана. Когда система достигла достаточно больших размеров, она начала действовать самопроизвольно; реакция в ней полностью управляема. Если интенсивность возрастает, достаточно ввести тела, поглощающие нейтроны. Если, наоборот, желательно увеличить активность, надо удалить эти поглотители. Таким образом, поведение котла — исключительно спокойное, регулируемое и не грозит взрывом...

Из статьи Э. Ферми «Создание первого ядерного котла»

В течение многих лет было известно, что в атомных ядрах содержится огромный запас энергии и что освобождение этой энергии не противоречит ни закону сохранения энергии, ни другим общепринятым основным законам физики. Признавая этот факт, физики все же вплоть до недавнего времени придерживались мнения, что освобождение ядерной энергии в крупных масштабах не может быть достигнуто, если только не будут открыты какие-то новые явления...

Возможным путем освобождения ядерной энергии является цепная реакция. При подавляющем большинстве ядерных превращений происходит испускание частиц (α-частиц, протонов или нейтронов), которые, в свою очередь, могут вызвать новые реакции. Тогда можно представить себе такое положение, когда в результате протекания первой реакции образуется достаточно много частиц, чтобы вызвать в среднем более одной подобной реакции. Если это так, то в каждом «поколении» возрастает число ядер, принимающих участие в реакции, и это происходит до тех пор, пока не «выгорит» значительная часть первоначального вещества. Цепная реакция будет развиваться или затухать в зависимости от того, больше или меньше единицы число новых процессов,

происходящих под действием частиц, испущенных при первом процессе. Это число называется «коэффициентом размножения».

Для всех без исключения процессов, которые были известны до открытия деления в начале 1939 г., коэффициент размножения был исчезающе мал по сравнению с единицей. С открытием процесса деления появились новые возможности...

К весне 1939 г. стало широко известно, что при делении, происходящем в результате соударения нейтрона с ядром урана, может возникнуть несколько, вероятно около двух или трех, новых нейтронов. В то время многие физики полагали, что возможность осуществления цепной реакции с помощью деления урана заслуживает внимательного изучения...

Возвращаясь к шагам, приведшим к получению цепной реакции, я хотел бы отметить, что в конце 1939 г. из имевшейся тогда информации явствовало, что заслуживают внимания два подхода к решению этой задачи. Первым шагом в одном из них должно было служить выделение из обычного урана редкого изотопа[3] ^{235}U, ответственного за деление урана медленными нейтронами. При таком выделении исключается паразитное поглощение нейтронов в распространенном изотопе 238; поэтому считалось, что, как только будет получен уран с высоким содержанием ^{235}U, будет легко осуществить и цепную реакцию. Действительная трудность состояла, конечно, в том, чтобы разделение изотопов осуществить в промышленных масштабах.

Другое направление, которое я и хотел рассмотреть в этом сообщении, исходило из применения естественного урана. Размещение этого вещества таким образом, чтобы смогла произойти цепная реакция, представляло, конечно, гораздо более трудную задачу, чем аналогичный вопрос для ^{235}U. Действительно, надо очень бережливо использовать нейтроны, образовавшиеся в результате первичного деления, чтобы, несмотря на большое паразитное поглощение ^{238}U, добиться положительного баланса нейтронов. Надо приложить все силы, чтобы сделать соотношение между полезным и паразитным поглощениями нейтронов как можно более благоприятным. Соотношение между этими поглощениями зависит от энергии нейтронов; если не вдаваться в детали, оно наиболее благоприятно для нейтронов малых энергий. Поэтому один из шагов состоит в замедлении нейтронов от их высокой начальной энергии... до энергии теплового движения. В течение некоторого времени уже был известен простой процесс, помогающий достичь этой цели. Этот процесс основан на том очевидном факте, что когда быстрый нейтрон сталкивается с атомом и отскакивает от него, то некоторая часть энергии нейтрона теряется на отдачу атома. Для легких атомов, которым легче испытывать отдачу, эффект возрастает и достигает максимума для водорода, но он вполне заметен и для всех легких элементов.

Итак, для того чтобы замедлить нейтроны, уран должен быть распределен по объему, занимаемому удобным легким элементом.

Казалось бы, что проще всего применить самый легкий элемент, водород, соединения которого (вода, парафин) было общепринято использовать для замедления нейтронов. Однако при дальнейших исследованиях обнаружилось, что водород не совсем подходит для этой цели. Это обусловлено тем, что ядра водорода способны заметно поглощать нейтроны, образуя при этом ядро тяжелого водорода, дейтерия. Поэтому при использовании водорода для замедления нейтронов появляется новый источник паразитного поглощения, который угрожает «съесть» небольшой положительный избыток нейтронов, необходимый для поддержания цепной реакции.

Поэтому надо рассматривать замедлители нейтронов из других легких элементов. По сравнению с водородом все они не так эффективны, но зато существовала надежда на уменьшение поглощения, что могло с избытком компенсировать этот недостаток...

При обсуждении выбора замедлителя в нашей группе, которая работала над этой проблемой в Колумбийском университете в течение 1939—1940 гг., ...мы пришли к выводу, что наиболее обещающие возможности открывает использование графита... Весной 1940 г. в Колумбийском университете мы начали экспериментальные исследования свойств графита, используя несколько тонн этого вещества... Работа шла по двум направлениям: определялись характеристики поглощения нейтронов в графите и изучалась его эффективность как замедлителя нейтронов...

Было организовано промышленное производство практически чистой окиси урана и получено некоторое количество литого металлического урана. Соответственно улучшились и результаты... экспериментов. Они показывали теперь, что, применяя эти сорта материалов более высокого качества, можно построить установку, в которой пошла бы цепная реакция.

Фактическое возведение первой такой установки было начало в октябре 1942 г. Было намечено построить решетчатую структуру шарообразной формы, поддерживаемую деревянной рамой. Эта структура должна была располагаться на кортах для игры в сквош[4] спортивного городка Чикагского университета...

Сооружение котла заняло несколько более месяца... Все это время с помощью измерений интенсивности нейтронов, образующихся внутри котла, постоянно контролировалось приближение к критическим условиям, условиям наступления цепной реакции...

В оставленные специально щели в структуре были вставлены кадмиевые полосы (кадмий является одним из наиболее сильных поглотителей нейтронов). Поглощение в кадмиевых полосах было достаточно велико, чтобы при введении их в котел цепная реакция не могла начаться. Каждое утро кадмиевые полосы постепенно, одна за другой, удалялись и производилось измерение плотности нейтронов. По результатам измерения можно было судить, насколько далеко от условий критичности мы находились.

Утром 2 декабря 1942 г. результаты измерений указывали на то, что критические размеры слегка превзойдены и что в системе не происходит цепная реакция только из-за поглощения в кадмиевых полосах. Этим утром были осторожно удалены все кадмиевые полосы, кроме одной. Затем, внимательно следя за интенсивностью, мы стали постепенно выводить последнюю полосу. Судя по результатам измерений, можно было ожидать, что система станет критической при выдвижении последней полосы примерно на восемь футов[5]. Когда было выдвинуто около семи футов, то интенсивность возросла до очень большого значения, но через несколько минут все-таки задержалась на конечном уровне. Распоряжение выдвинуть полосу еще на полтора фута было отдано с некоторым трепетом: делался решающий шаг. Когда полтора фута были удалены из котла, интенсивность начала подниматься сначала медленно, затем быстрее, и продолжала возрастать, пока не стало ясно, что она действительно может стать бесконечно большой. Тогда в структуру были снова введены кадмиевые полосы, и интенсивность упала до очень малого уровня.

Этот прототип установки, использующей цепную реакцию, оказался очень легким в управлении. Можно было очень точно установить интенсивность ее работы на желаемом уровне. Оператору оставалось только смотреть за показаниями индикатора интенсивности и вдвигать кадмиевые полосы, если интенсивность обнаруживала тенденцию к возрастанию, или выдвигать их, если интенсивность падала. Управлять котлом так же легко, как вести автомобиль по прямой дороге, подправляя руль всякий раз, когда автомобиль склонен повернуть направо или налево. Через несколько часов тренировки оператор может без затруднений удерживать интенсивность реакции постоянной с точностью до доли процента.

Первый котел не содержал никаких устройств для отвода тепла, образующегося при реакции, и не имел защиты от излучения, возникающего при делении. По этим причинам мощность, при которой мог работать котел, имела только символическое значение; она никогда не превышала двухсот ватт. Тем не менее с помощью первого котла было доказано, что цепная реакция в системе из графита и естественного урана возможна и что она легко управляема.

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Энрико Ферми* (1901—1954) — итальянский физик, внесший большой вклад в развитие современной теоретической и экспериментальной физики. Родился в семье железнодорожного служащего. С ранних лет отличался необыкновенными способностями в области математики и физики. При поступлении в Пизанский университет привел в изумление экзаменаторов своими обширными знаниями, ясностью и точностью ответов и формулировок. В возрасте 25 лет стал про-

фессором теоретической физики в Римском университете. В 1938 г. он эмигрировал в Америку, опасаясь преследований своей семьи со стороны итальянских фашистов.

Ученый впервые поставил опыты, в которых наблюдал искусственную радиоактивность, вызванную бомбардировкой нейтронами ряда элементов. В 1939 г. Ферми экспериментально показал, что при делении ядра урана под действием медленных нейтронов оно испускает 2—3 новых нейтрона. Как известно, это открытие стало одним из важнейших на пути осуществления цепных реакций. Ученым также было открыто явление замедления нейтронов. В конце 1942 г. Ферми впервые на практике удалось осуществить управляемую ядерную цепную реакцию в построенном под его руководством ядерном реакторе. В этом первом реакторе, имевшем мощность всего 200 Вт, в качестве замедлителя нейтронов использовался графит, а в качестве горючего — уран.

Ферми был членом академий наук многих стран. В честь его научных заслуг сотый элемент таблицы Менделеева назван фермием.

[2] По современной терминологии — атомная масса.

[3] Природный уран состоит из смеси трех изотопов. Изотоп $^{235}_{92}U$ составляет по массе $\approx 0{,}71\%$, а изотоп $^{238}_{92}U$ — приблизительно 99,28% от всей массы изотопов урана.

[4] Игра, напоминающая теннис.

[5] 1 фут = 30,48 см.

СОВЕТСКАЯ АТОМНАЯ ФИЗИКА И АТОМНАЯ ТЕХНИКА

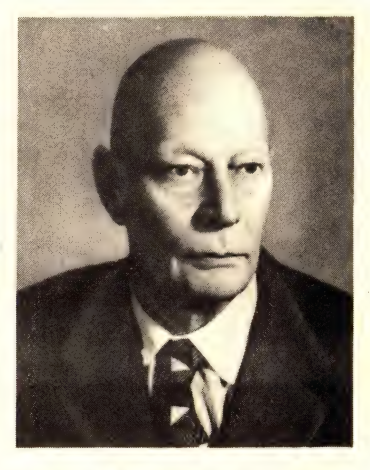
Достижения в области физики атомного ядра открыли человечеству возможность использования энергии, освобождающейся в некоторых ядерных реакциях. Одна из таких реакций — цепная реакция деления ядер урана — сегодня широко используется в реакторах на атомных электростанциях. Другая — термоядерный синтез легких атомных ядер — пока реализована лишь в неуправляемом виде (в термоядерных бомбах).

Ученые многих стран настойчиво работают над проблемой реализации управляемой термоядерной реакции. Решение этой проблемы открыло бы человечеству практически неисчерпаемый источник энергии.

Советские физики добились крупных успехов как в области технического использования реакций деления ядер урана для получения электрической энергии, так и в исследованиях проблем управляемого термоядерного синтеза. Наше правительство неизменно выступало и выступает за то, чтобы энергия атома использовалась только в мирных целях. Известно, что в СССР была создана первая промышленная атомная электростанция (Обнинская АЭС, 1954 г.). По инициативе Советского правительства был заключен международный договор о запрещении испытания ядерного оружия в трех средах. В 1956 г. выдающийся советский физик И. В. Курчатов выступил перед английскими коллегами с докладом, в котором рассказал о ведущихся в нашей стране работах в области управляемой термоядерной реакции.

XXVI съезд КПСС отнес развитие ядерной и создание основ термоядерной энергетики к числу важнейших проблем, на решение которых должны быть сосредоточены усилия ученых.

Из статьи А. П. Александрова[1] «Великий подвиг советских ученых»*



Анатолий Петрович Александров

...25 декабря 1946 г. ... Игорем Васильевичем Курчатовым и его сотрудниками впервые в СССР была осуществлена самоподдерживающаяся ядерная цепная реакция...

До 1939 г. во всем мире большая часть ученых-физиков считала, что использование ядерной энергии невозможно, так как суммарные затраты энергии на ядерное превращение, при котором освобождается энергия, были тогда значительно больше, чем сама освобождаемая ядерная энергия...

Среди советских физиков уже весной 1939 г. было ясное понимание значения проблемы, и ряд выполненных учеными теоретических и экспериментальных работ дал возможность И. В. Курчатову поставить вопрос перед правительством о возможном военном значении исследований по делению урана и необходимости их быстрейшего развития, имея в виду возможное стремление фашистской Германии создать ядерное оружие.

Вскоре, однако, фашистская Германия напала на Советский Союз. Лаборатории, проводившие исследования в области ядерной физики в Харькове и Ленинграде, были полностью выведены из строя или эвакуированы. В местах эвакуации невозможно было в то время серьезно говорить о работах в этой сложнейшей области. Да и сама задача казалась еще очень далекой, а военное положение нашей Родины требовало труда ученых непосредственно на нужды войны. Делом нашей чести было прямое улучшение нашей боевой техники...

А в это время в фашистской Германии развивались исследования по урановой проблеме. Германией в Норвегии был захвачен единственный в то время в мире завод тяжелой воды (тяжелая

---

* Александров А. П. Великий подвиг советских ученых. — «Правда» от 24 декабря 1966 г.

вода и уран — одна из возможных пар для создания атомных реакторов, наиболее очевидная в то время). Вокруг урановой проблемы возникла ожесточенная борьба. Английская разведка следила за накоплением тяжелой воды, и, когда транспорт тяжелой воды был готов к отправке в Германию, бомбардировщики США уничтожили двухлетнюю продукцию.

Французские физики во главе с Фредериком Жолио-Кюри, еще в 1940 г. проводившие работы по цепной реакции деления, спасли от немцев во время оккупации свои запасы тяжелой воды, переправив ее в Англию...

Наши ученые, придававшие громадное значение атомной проблеме и встревоженные явным засекречиванием работ в этой области, обращали внимание правительства на ее важность. Г. Н. Флеров[2], служивший в это время в Военно-Воздушных Силах, писал И. В. Курчатову о необходимости возобновления этих исследований. Соответствующие доклады были представлены правительству...

И вот в Москве с начала 1943 г. под руководством И. В. Курчатова было начато это трудное дело. Стали собирать ученых-ядерников с фронта, из промышленности, из эвакуированных в тыл институтов...

Встал вопрос о получении урана. Раньше он добывался только как усилитель для фотографии да для окраски стекла. Новой проблемой была металлургия урана, производство сверхчистого графита (да еще при отсутствии методов анализа примесей), всякого рода детекторов излучений, измерительной аппаратуры...

Заводам давались, как они считали, «невозможные» задания по чистоте, размерам, свойствам продукции, однако все выполнялось. Все трудились, как воевали. Об отдыхе не было и речи. Много аппаратуры привезли из Ленинграда, сквозь блокаду. Каждый шаг, каждое измерение укрепляли уверенность в том, что цель достижима. Осенью 1943 г. крупнейшие советские физики — теоретики и экспериментаторы — разработали теорию атомного реактора, ставили опыты по изучению условий возникновения цепных ядерных реакций в системах из урана и графита. И мучило одно: немцы раньше начали — неужели они обгонят? Гитлер делал заявления о сверхсекретном оружии — неужели это оно?..

В 1944 г. и начале 1945 г. военное поражение фашистской Германии и вступление советских войск на ее территорию сняло опасность создания и применения ею ядерного оружия...

В это время, в июле 1945 г., в США было произведено первое испытание атомной бомбы, а в августе Хиросима и Нагасаки стали жертвами нового чудовищного оружия...

И. В. Курчатов и другие ученые, инженеры и специалисты разных областей, работавшие по поручению ЦК над советским атомным проектом, ясно отдавали себе отчет в том, что жизненным вопросом для защиты нашей страны является создание равно-

ценного вооружения до того, как США еще не развили массовое производство его...

Наконец, наступил долгожданный день — 25 декабря 1946 г. И. В. Курчатовым совместно с ближайшими сотрудниками... пущен был первый экспериментальный уран-графитовый реактор.

В нем воплотился героический труд многих и многих людей. «Секрет» производства ядерной взрывчатки — плутония — был раскрыт. Физики в первую очередь, химики, металлурги, специалисты по графиту, прибористы — трудно привести даже перечень всех специальностей, которые пришлось привлекать к этой задаче.

В США над атомной проблемой работали, кроме американских ученых, специалисты многих стран мира. К их услугам была промышленность, не разоренная войной.

И все же этот этап работ, несмотря на тяжелейшие условия, в Советском Союзе был выполнен в более короткий срок.

Значение пуска этого первого реактора трудно переоценить. На нем были получены «достаточные» количества — несколько десятков миллиграммов плутония. Это дало возможность радиохимикам практически создать химию плутония, ранее разработанную на индикаторных количествах, полученных другим методом, и спроектировать крупный завод для его извлечения. Металлурги выделили металлический плутоний и на корольке металла меньше булавочной головки определили его свойства и развили металлургию плутония. Физики уточнили проект первого производственного ядерного реактора и получили необходимые константы для проектирования оружия.

С этого момента из атомной науки начала рождаться могучая атомная промышленность Советской страны. Вместе с тем в СССР широко развернулось мирное использование атомной энергии...

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Анатолий Петрович Александров* (р. 1903 г.) — советский ученый в области атомной физики и энергетики, академик (с 1953 г.) и с 1975 г. — президент Академии наук СССР. Родился на Украине в семье учителя, окончил физико-математический факультет Киевского университета, и сам многие годы работал в средней школе преподавателем физики. Научная работа Александрова началась в Ленинградском физико-техническом институте, где он провел исследование электрической прочности диэлектриков и физических свойств полимеров.

В годы Великой Отечественной войны возглавил работы по защите кораблей от магнитных мин, спасшие многие тысячи наших моряков. Научные основы метода противоминной защиты были разработаны под его непосредственным руководством еще в довоенные годы. В Севастополе установлен памятный знак, на котором написано: «Здесь в 1941 году в сражающемся Севастополе группой ученых под руководством А. П. Александрова и И. В. Курчатова были про-

ведены первые в стране успешные опыты размагничивания кораблей Черноморского флота».

Особо большое государственное и научное значение имеют работы Александрова, связанные с научными и техническими проблемами ядерной энергетики. Результаты, достигнутые под его научным руководством в этой области, позволили нашей стране занять лидирующие позиции по многим разделам атомной науки, техники и промышленности. Он возглавил разработку водо-водяных реакторов, которые и сейчас успешно применяются на атомных электростанциях в нашей стране и других странах — членах СЭВ.

Под руководством Александрова были созданы реакторы для атомных ледоколов «Ленин» и «Арктика».

Александров — депутат Верховного Совета СССР, член ЦК КПСС.

Заслуги ученого перед наукой получили высокую оценку — он трижды удостоен звания Героя Социалистического Труда.

[2] *Георгий Николаевич Флеров* (р. 1913 г.) — советский физик, академик, Герой Социалистического Труда. Работает в области ядерной физики. Под его руководством были синтезированы и изучены свойства ряда трансурановых элементов.

Из речи И. В. Курчатова на XXI съезде КПСС*

...В результате осуществления управления термоядерной реакцией общество получит в свое распоряжение замечательный и неограниченный источник энергии. Овладение термоядерной энергетикой позволит в будущем экономически более рационально использовать такие ценнейшие виды сырья, как уголь, нефть и природный газ. С применением термоядерной энергетики исчезнет необходимость транспортировки топлива и передачи электроэнергии на большие расстояния.



Игорь Васильевич Курчатов

Термоядерные реакции уже осуществлены человеком. Они возвестили о своем приходе на землю грохотом испытательных взрывов термоядерного оружия... Советское правительство стремится остановить это соревнование... и, как известно, в качестве первого шага предложило запретить дальнейшие испытания...

Одновременно с разработкой и испытанием термоядерных бомб советские ученые вели работу над вопросами мирного использования термоядерной энергии...

---

* «Правда» от 5 февраля 1959 г.

Советское правительство не только оказало большую поддержку советским ученым в разработке вопросов мирного использования термоядерной энергии, но и сделало все возможное. чтобы в этой важной для всего человечества области науки и техники перейти от «холодной войны» к мирному сотрудничеству... В 1956 г. с разрешения Советского правительства в английском научном центре Харуэлле был сделан доклад о работах советских ученых в области управляемых термоядерных реакций...

Несколько слов о наших работах. Они были начаты около 10 лет тому назад здесь, в Москве, в Институте атомной энергии Академии наук. Развитие работ потребовало в последующем более широкого привлечения научных работников и инженеров...

В СССР построены различные по принципу действия и инженерным масштабам установки для исследования поведения нагретого и ионизированного водорода в условиях, сходных с теми, которые, по нашим представлениям, будут иметь место в термоядерных реакторах. На этих установках сейчас ведутся исследования.

Установки для изучения термоядерных реакций представляют собой крупные и сложные сооружения стоимостью в десятки миллионов рублей...

...Возникает вопрос: почему термоядерный взрыв был осуществлен вскоре же после начала работ, а для управляемой термоядерной реакции называют... большие сроки, хотя в обоих случаях происходит один и тот же физический процесс образования гелия из тяжелого водорода?

Дело здесь в следующем. Осуществление термоядерных реакций требует исключительно высоких температур...

При термоядерном взрыве такая температура достигается при помощи взрыва атомной бомбы только на ничтожно малый промежуток времени, исчисляемый менее чем миллионными долями секунды. При этом условии не приходится особо заботиться о том, чтобы вещество не разлетелось, не испарилось или чтобы не остыло, так как раньше, чем это случится, успеет произойти необходимое ядерное превращение и выделение энергии взрыва.

Совсем иначе складываются обстоятельства для спокойно протекающей термоядерной реакции. Тут необходимо постепенно нагреть до крайне высоких температур..., удержать и термически изолировать вещество от окружающей среды на длительный промежуток времени. Понятно, что это представляет собой задачу необычайной научно-технической сложности...

Наряду с проведением физических, теоретических и экспериментальных исследований должны решаться и новые вопросы техники. Сейчас уже ясно, что термоядерные реакторы не могут быть созданы без настоящей технической революции в области вакуумной техники...

Требуются новые материалы, среди них очень чистые металлы...

Проблема термоядерных реакций предъявляет новые запросы к

химической технологии, электротехнике и радиоэлектронике. Нужны новые изоляционные материлы... Требуются новые мощные электронные приборы...

Заканчивая выступление, я... хочу заверить делегатов съезда, что советские ученые, инженеры и техники, работающие над задачей термоядерной энергетики, сделают все от них зависящее для решения этой важнейшей научно-технической проблемы.

Ученые нашей великой Родины будут вместе со своей партией, со всем советским народом трудиться не покладая рук, чтобы сделать человека истинным властелином природы в коммунистическом обществе.

ПРИМЕЧАНИЕ

[1] *Игорь Васильевич Курчатов* (1903—1960) — выдающийся советский физик, академик, трижды Герой Социалистического Труда. Он стоит в ряду ученых, приведших человечество к атомной энергетике. Родился в поселке Сим на Южном Урале в семье помощника лесничего. После окончания гимназии он в 1920 г. поступает в Крымский университет. На вопрос анкеты: чем обусловлено ваше желание поступить именно в это учебное заведение? — семнадцатилетний юноша ответил: «Стремлюсь отдать свои силы и знания на укрепление хозяйственной мощи республики». Чтобы продолжать учебу в трудные годы разрухи и голода, Курчатов не гнушался никакой работой — он был чернорабочим, воспитателем детского дома, диспетчером автоколонны, сторожем кинотеатра. После досрочного окончания университета переезжает в Петроград, где продолжает учебу в Политехническом институте. С 1925 г. И. В. Курчатов начал работать в Физико-техническом институте. Физикой атомного ядра он занимался с тридцатых годов. В начале Великой Отечественной войны выполнил ряд работ, имевших важное оборонное значение. Под непрерывными бомбежками врага Курчатов принимал участие в противоминной защите кораблей в г. Севастополе. Когда над страной возникла угроза атомного шантажа, ученый возглавил (с 1943 г.) научно-технические работы, связанные с атомной проблемой.

Под руководством Курчатова был сооружен первый в Европе атомный реактор (1946 г.), созданы атомная бомба и термоядерная бомба.

Курчатов выступал за запрещение производства и испытаний атомного оружия, за развитие мирного использования атомной энергии. Он не раз повторял, что бомбы — это только необходимость, а наша цель — мирный атом. «Я счастлив, что родился в России и посвятил свою жизнь атомной науке Великой Страны Советов, — говорил ученый. — Я глубоко верю и твердо знаю, что наш народ, наше правительство только благу человечества отдадут достижения этой науки».

Под научным руководством Курчатова были сооружены первая в мире промышленная атомная электростанция (1954 г.), крупнейшая установка для проведения исследований по осуществлению регулируемых термоядерных реакций (1958 г.). Этой проблеме посвятил Курчатов свои силы и энергию в последние годы жизни.

Ученый-патриот, он буквально до последних дней своей жизни руководил работами в области атомной энергетики. «Быть советским ученым — большое

счастье: перед советским ученым раскрыты необозримые просторы радостного труда на благо своего социалистического Отечества», — говорил Курчатов на XX съезде КПСС.

Академия наук учредила медаль имени Курчатова, присуждаемую за выдающиеся работы в области ядерной физики. Имя ученого присвоено Институту атомной энергии, Белоярской атомной электростанции. Открытый в нашей стране 104-й элемент периодической системы Менделеева назван курчатовием.

Из речи Президента Академии наук СССР А. П. Александрова на XXV съезде КПСС*

Очень многое делается для успешного развития науки в нашей стране. Наша социальная система и система образования обеспечивают выявление и вовлечение в науку талантливых людей...

. . . .

В докладе Леонида Ильича Брежнева на этом съезде... особенно отмечается большое значение фундаментальных знаний во всех отраслях науки... Акцент на развитие фундаментальных проблем науки чрезвычайно знаменателен. Он показывает, что партия и правительство ясно и глубоко видят логику развития науки, механизм научно-технического прогресса. Очень легко, взявшись за малые задачи сегодняшнего дня, быстро получить эффектный результат. Но глубоко правильно сказал Леонид Ильич Брежнев, что не эти результаты определяют технический прогресс страны, что нет ничего более практичного, чем хорошая теория. Именно прогресс фундаментальных знаний изменяет, казалось бы, установившиеся и незыблемые в науке точки зрения, открывает новые области в науке и технике, коренным образом меняет технологию, приводит к появлению новых материалов и открывает возможности использования совершенно новых, часто неожиданных явлений в областях, совершенно не имевших никакого отношения к первоначальной области исследования.

. . . .

Я из множества примеров приведу только один, показывающий роль фундаментальной науки. В тридцатых годах в Ленинградском физико-техническом институте И. В. Курчатовым и другими учеными были начаты работы по физике атомного ядра. В ряде других институтов академии также начали развиваться эти, казалось, не имеющие никакого отношения к практике работы. Академик Н. Н. Семенов[1], совсем в другой области, изучая явления горения и взрыва, открыл механизм развития химических

---

* XXV съезд Коммунистической партии Советского Союза. Стенографический отчет, ч. I. М., 1976, с. 217—219.

реакций, получивших название цепных, т. е. таких, которые развиваются с передачей реакции от одного атома к другому.

Сопоставив все это и оценив последние научные данные, уже в 1940 г. И. В. Курчатов обосновал необходимость развернуть работы в области атомной техники в нашей стране. Но началась война. В самый ее разгар стало известно, что не только фашистская Германия, но и наши союзники втайне от нас ведут интенсивную работу по созданию ядерного оружия. И вот в 1943 г. такие исследования были начаты у нас... Наша Родина была защищена от ядерной угрозы... Это — фундаментальная работа, но ее практические результаты были необходимы для самого существования нашей страны.

А какова дальнейшая судьба этого фундаментального направления?

Товарищи делегаты! Вы знаете, что на основе решений XXIV съезда КПСС у нас развивается атомная энергетика, и в девятой пятилетке пущены еще два блока Воронежской АЭС (ныне — Нововоронежская АЭС им 50-летия СССР.—Ред.), Кольская, Ленинградская атомные электространции, сооружены с нашей помощью атомные станции в ГДР, Болгарии и т. д. Причем Ленинградская АЭС состоит из блоков по 1 млн. кВт каждый, т. е. они относятся к группе мощнейших реакторов мира. Построен новый мощный атомный ледокол «Арктика», спущен на воду ледокол «Сибирь»...

Атомная техника сейчас на тысячах заводов применяется для проверки разными способами качества изделий, геологическая разведка пользуется атомной техникой для анализов полезных ископаемых, в медицине широко применяется атомная техника для диагностики и лечения ряда заболеваний.

. . . .

Ученые продолжают успешно трудиться над тем, чтобы термоядерную энергетику использовать не в виде бомб, а в регулированном виде для снабжения промышленности энергией...

. . . .

...Структура топливно-энергетического баланса постепенно должна изменяться. На это будет влиять и необходимость экономии нефти и газа для более оптимального их использования, и расширение областей применения атомной энергетики, и включение в энергопроизводство в конце столетия термоядерных источников, МГД-генераторов, новых методов энерготранспорта, а также новые тенденции в энергоупотреблении. Укрупнение блоков энергостанций до нескольких миллионов киловатт, нужды энерготранспорта и термоядерной энергетики потребуют применения в электромашиностроении сверхпроводников и т. п. ...

Разработки будут и долговременные — например, от лабораторного осуществления термоядерной реакции, к которой мы подошли сегодня, до коммерчески выгодной станции пройдет, как и в атомной энергетике, лет пятнадцать, и термоядерные электро-

станции, вероятно, будут иметь мощности не менее 10 млн. кВт, что потребует изучения проблем размещения потребителей и транспорта энергии в оптимальной форме.

. . . .

Отмечу..., что многие фундаментальные исследования уже получают широкое практическое применение. Выдающиеся работы по исследованию космического пространства... сегодня неизмеримо расширили возможности телевидения и связи, позволили через систему «Орбита» приобщить к Центральному телевидению миллионы людей, обеспечивают навигацию и штормовые предупреждения, начинают использоваться в геологической разведке, лесоведении и, вероятно, скоро станут применяться в сельском хозяйстве. Работы по квантовым генераторам академиков Н. Г. Басова[2] и А. М. Прохорова[3] открыли новые возможности в целом ряде отраслей. Лазеры — тончайшая оптическая вещь. Лазерным лучом делают отверстия в камнях для часов, заживляют раны. Лазеры применяются для сварки, резки металлов, для локации, посадки самолетов в сложных условиях и т. д. Вот что дает фундаментальная наука...

. . . .

...Ученые все сделают для того, чтобы увеличить вклад науки в наше общенародное дело.

ПРИМЕЧАНИЕ

[1] *Николай Николаевич Семенов* (р. 1896) — советский химик и физик, академик, дважды Герой Социалистического Труда, лауреат Государственных премий СССР (1941, 1949 гг.) и Нобелевской премии (1956 г.). Ученый внес большой вклад в разработку современной теории цепных реакций, теории процессов горения и взрывов.

[2] *Басов Николай Геннадиевич* (р. 1922 г.) — советский физик, один из создателей квантовой радиофизики, академик, лауреат Ленинской премии (1959 г.) и Нобелевской премии (1964 г.).

[3] *Прохоров Александр Михайлович* (р. 1916 г.) — советский физик, один из создателей квантовой электроники, академик, лауреат Ленинской премии (1959 г.) и Нобелевской премии (1964 г.).

VIII. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В ФИЗИКЕ

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

Физика в настоящее время знает несколько законов сохранения: закон сохранения энергии, закон сохранения импульса и др.

Еще античные ученые считали, что движение несотворимо и неуничтожимо, что оно не может пропадать и возникать без причины. Когда после средневековья начала развиваться наука в Европе, эта идея вновь возродилась.

Первым был открыт закон сохранения импульса (его называли законом сохранения количества движения).



Рене Декарт

Первая формулировка этого закона принадлежит знаменитому французскому ученому XVII в. Р. Декарту[1], который, полагая, что движение в природе несотворимо и неуничтожимо, попытался дать этому общему положению количественное выражение. Декарт принял за меру движения данного тела произведение его массы на его скорость. Эту величину он назвал количеством движения. Декарт пришел к убеждению, что при всех взаимодействиях между телами количество движения остается постоянным. На этом основании он считал, что в мире не может прекратиться движение и жизнь. Об этом он писал в одном из своих писем в 1639 г.

Хотя Декарт установил закон сохранения количества движения, однако он не ясно представлял себе, что количество движения является векторной величиной. Понятие количества движения уточнил Гюйгенс, который, исследуя удар шаров (см. гл. I), доказал, что при их соударении сохраняется не арифметическая сумма, а векторная сумма количества движения, а также сформулировал следствие из этого закона о движении центра тяжести тел при ударе.

Основные идеи о сохранении количества движения, высказанные Декартом и Гюйгенсом, впоследствии были развиты и получили формулировку в виде одного из всеобщих законов природы — закона сохранения импульса.

Из письма Р. Декарта*

Я принимаю, что во Вселенной... есть известное количество движения, которое никогда не увеличивается, не уменьшается и, таким образом, если одно тело приводит в движение другое, то теряет столько своего движения, сколько его сообщает. Так, если камень падает с высокого места на землю, то в случае, когда он не отскакивает, а останавливается, я допускаю, что он колеблет землю и передает ей свое движение. Но так как часть земли, приведенная в движение, содержит в себе в тысячу, например, раз более материи, чем сколько заключается в камне, то, передав свое движение, он может сообщить только в тысячу раз меньшую скорость.

Из работы Р. Декарта «Трактат о свете»

...Каждая частица материи в отдельности продолжает находиться в одном и том же состоянии до тех пор, пока столкновение с другими частицами не вынуждает ее изменить это состояние. Иными словами, если частица имеет некоторую величину, она никогда не станет меньшей, пока ее не разделят другие частицы; если эта частица кругла или четырехугольна, она никогда не изменит этой формы, не будучи вынуждена к тому другими; если она остановилась на каком-нибудь месте, она никогда не двинется отсюда, пока другие ее не вытолкнут; и раз уж она начала двигаться, то будет продолжать это движение постоянно... до тех пор, пока другие ее не остановят или не замедлят ее движения...

Если одно тело сталкивается с другим, оно не может сообщить ему никакого другого движения[2], кроме того, которое потеряет во время этого столкновения, как не может и отнять у него больше, чем одновременно приобрести себе...

Из статьи Х. Гюйгенса

Количество движения, которое имеют два тела, может увеличиваться или уменьшаться при столкновении, но его величина остается постоянной в ту же сторону..., если мы вычтем количество движения обратного направления[3]...

...Я заметил удивительный закон природы, который я могу доказать для сферических тел и который, по-видимому, справедлив и для всех других тел, упругих и неупругих, при прямом и при косом ударе: «общий центр тяжести двух или трех или скольких угодно тел продолжает двигаться равномерно в ту же сторону по прямой линии как до, так и после удара».

---

* Адресат этого письма не установлен.

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Рене Декарт* (1596—1650) — французский ученый и философ. Родился в дворянской семье. В школьные годы проявил глубокий интерес к математике. Получив образование, Декарт в начале Тридцатилетней войны служил в армии. Затем он много путешествовал и в 1629 г. поселился в Нидерландах, где и провел почти всю свою остальную жизнь, посвятив себя занятиям наукой.

Декарту принадлежат важнейшие исследования по философии, математике и физике. Он впервые ввел понятие координат. Физическим исследованиям посвящены работы Декарта «Начала философии» (1644 г.), «Трактат о свете» (1664 г.), а также ряд неоконченных рукописей, в частности трактат по механике. В основе исследований Декарта лежит идея о том, что в материальном мире не существует ничего, кроме движущейся материи. Он, развивая идеи Галилея, сформулировал закон сохранения количества движения.

В 1620 г. голландский ученый В. Снеллиус (1580—1626) открыл закон преломления света на границе двух сред, но, однако, опубликовать свои работы ему не удалось. Декарт, не зная об этом открытии, независимо от Снеллиуса в 1630 г. установил этот закон и опубликовал его в 1637 г.

Опираясь на известные к этому времени законы физики, Декарт сделал попытку создать теорию возникновения Вселенной и рассмотреть небесные тела в их развитии. Для XVII в., когда господствовало схоластически-религиозное учение о неизменной Вселенной, эта идея была новой и смелой. Она вызвала ненависть церковников, и преподавание философии Декарта было запрещено.

В 1649 г. Декарту предлагают переехать в Швецию, чтобы организовать в Стокгольме Академию наук. Декарт принял предложение, но, переехав в Стокгольм, тяжело заболел и через несколько месяцев скончался.

В 1663 г., после смерти Декарта, все его произведения были запрещены Ватиканом. Смелостью своих идей учение Декарта захватило лучшие умы того времени.

[2] Под словом «движение» здесь нужно понимать количество движения.

[3] Векторная сумма количества движения двух тел при столкновении остается постоянной.

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ И ПРЕВРАЩЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Частные случаи закона сохранения и превращения энергии рассматривались многими учеными, начиная с XVII в.

Одним из первых среди них был выдающийся нидерландский ученый Симон Стевин[1], который рассмотрел задачу о равновесии тел на наклонной плоскости и решил ее на основе идеи о невозможности вечного двигателя.

Вопроса о сохранении энергии в механике касался также Галилей, рассматривая движение тел на наклонной плоскости, а также колебания математического маятника.

Закон сохранения энергии применительно к системе тел, движущихся в поле силы тяжести, сформулировал Гюйгенс. Помимо этого Гюйгенс

установил закон сохранения кинетической энергии (закон «живых сил») для случая удара упругих тел.

Идею Гюйгенса о сохранении энергии при движении тел в поле силы тяжести и удара шаров обобщил знаменитый немецкий философ и ученый Г. Лейбниц[2], который сформулировал закон сохранения энергии под названием закона «сохранения живых сил». Под «живой силой» Лейбниц понимал кинетическую энергию тел, а под законом сохранения «живых сил» — закон сохранени кинетической и потенциальной энергии, полагая, что все процессы в природе сводятся к механическому движению больших и малых тел. Лейбниц противопоставил закон сохранения «живых сил» закону сохранения количества движения, утверждая, что Декарт неправильно принял за меру движения произведение массы на скорость, т. е. количество движения. Мерой движения, по Лейбницу, должна служить «живая сила», равная произведению массы на квадрат скорости. С таким мнением Лейбниц выступил в печати, доказывая свою правоту.

После выступления Лейбница среди ученых возник спор, какая величина является мерой движения («мерой силы»). Последователи Декарта утверждали, что движение должно измеряться количеством движения. Последователи Лейбница доказывали, что мерой движения является «живая сила». Спор о том, что является мерой движения, продолжался и в XVIII в. Об этом споре писал выдающийся французский ученый Ж. Даламбер[3], который высказал точку зрения, что этот спор является беспредметным, спором о словах. Оценку этому спору дал Ф. Энгельс[4] уже после открытия закона сохранения энергии.

В середине XIX в. был открыт закон сохранения и превращения энергии, который справедлив для всех физических процессов, а не только для механических явлений. В этом открытии участвовал целый ряд ученых. Однако наибольшие заслуги в этом открытии принадлежат трем знаменитым ученым: немецкому врачу Р. Майеру[5], английскому физику Дж. Джоулю, немецкому ученому Г. Гельмгольцу[6].

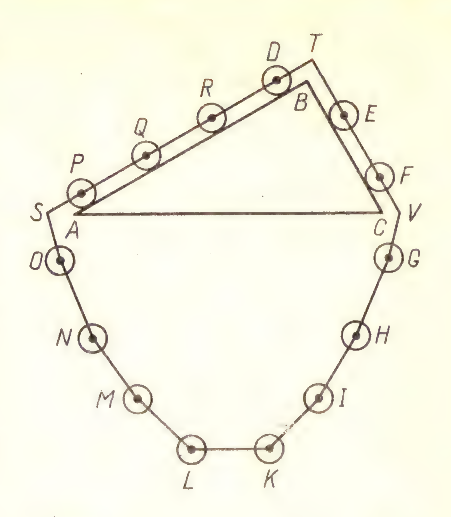
Общую оценку вновь открытому закону сохранения и превращения энергии дал Ф. Энгельс. Он называл его великим основным законом движения, который утверждал не просто количественное сохранение движения, но и превращение одних форм движения в другие в эквивалентных количественных соотношениях. Ф. Энгельс писал: «*Количественное* постоянство движения было высказано уже Декартом и почти в тех же выражениях, что и теперь... Зато превращение *формы* движения открыто только в 1842 г., и это, а не закон количественного постоянства, есть новое»*.

Последующее развитие физики привело к дальнейшему углублению содержания закона сохранения энергии. В специальной теории относительности была выявлена пропорциональность между массой и энергией. Была также установлена глубокая связь между законами сохранения и свойствами пространства и времени.

---

* Энгельс Ф. Диалектика природы. — Маркс К., Энгельс Ф. Соч., изд. 2-е, т. 20, с. 595.

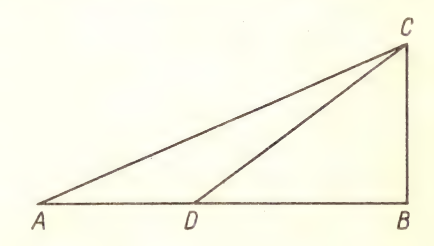
Из сочинения С. Стевина «Статика или начала равновесия»



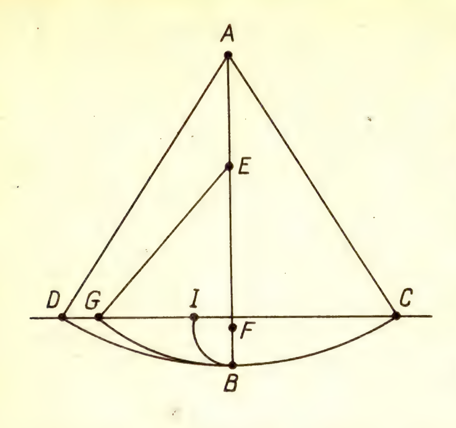
Если фактический вес четырех шаров D, R, Q, P не равнялся бы действительному весу двух шаров E, F, тогда тот или другой вес будет преобладать. Давайте предположим (если это возможно), что это будет с весом четырех шаров D, R, Q, P. Но четыре шара O, N, M, Z являются равными по весу четырем шарам J, H, I, K. Поэтому сторона из восьми шаров D, R, Q, P, O, N, M, Z тяжелее, чем сторона из шести шаров E, F, J, H, I, K. То, что тяжелее, всегда перевешивает то, что легче; поэтому восемь шаров будут опускаться, а другие шесть шаров будут подниматься. Пусть это будет так, и пусть D упало туда, где сейчас находится O, тогда E, F, J, H будет там, где P, Q, R, D, а I, K — где E, F. Но если это будет так, то ряд шаров будет иметь то же положение, что и раньше, и вследствие этого восемь шаров на левой стороне будут снова перетягивать шесть шаров на правой стороне. В соответствии с этим восемь шаров снова будут опускаться, а другие шесть шаров будут подниматься. Этот спуск с одной стороны и подъем с другой стороны будет продолжаться вечно, потому что причина всегда та же самая. Шары будут совершать самопроизвольно непрерывное или вечное движение, что является абсурдом.

Из книги Г. Галилея «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки»

Сальвиати[7].— ...Степени скорости, приобретаемые одним и тем же телом при движении по разным наклонным плоскостям, равны между собой, если высоты этих наклонных плоскостей одинаковы...



Для ясности возьмем параллельную горизонтальную линию AB, к которой наклонены две плоскости CA и CD... Степени



скорости, приобретенные телом, движущимся по наклонным плоскостям *CA* и *CD*, при достижении им точек *A* и *D* равны между собой, так как плоскости имеют одну и ту же высоту *CB*; при этом указанная степень скорости одинакова с той, которую тело приобретает, достигнув точки *B* при свободном падении из точки *C*.

Сагредо.— Это положение кажется мне действительно столь правдоподобным, что заслуживает быть принятым без возражений, при том условии, конечно, что все внешние препятствия и воздействия устранены, наклонные плоскости тверды и абсолютно гладки, а движущееся тело имеет совершенно правильную круглую форму, так что между плоскостями и телом нет трения...

Сальвиати. — Вы считаете это вероятным. Я иду дальше признания вероятности и постараюсь так подкрепить ее опытом, чтобы это мало чем отличалось от непреложного доказательства. Представим себе, что этот лист является стеной, перпендикулярной к горизонту, и что на вбитом в нее гвозде на тонкой нити *AB* подвешен свинцовый шарик...; начертим на этой стене горизонтальную линию *CD*, перпендикулярную линии *AB*... Если мы отведем теперь нить *AB* вместе с шариком в положение *AC* и отпустим шарик, то мы тотчас же увидим, как он, падая, опишет дугу *CBD*, быстро пройдет за точку *B* и, следуя по дуге *BD*, поднимается почти до уровня линии *CD*, не достигнув ее на весьма малое расстояние, поскольку дойти до этой линии вплотную ему мешает сопротивление воздуха и нити. Отсюда мы можем с достоверностью заключить, что импульс, приобретенный в точке *B* шариком, спускающимся по дуге *CB*, достаточен для того, чтобы поднять этот шарик по такой же дуге *BD* на ту же высоту. Проделав несколько раз этот опыт, вобьем в стену против линии *AB*, хотя бы в точке *E* или *F*, гвоздь...; это необходимо для того, чтобы нить *AC*, несущая, как и раньше, шарик *C*, задержалась гвоздем *E* при движении шарика по дуге *CB* и достижении им точки *B* и вынуждала последний следовать далее по дуге окружности *B*, *J*, центром которой является *E*... Вы с удовольствием увидите, что шарик достиг в точке *J* той же самой горизонтали; то же произойдет, если мы вобьем гвоздь ниже, например, в точке *F*, в каковом случае шарик опишет дугу *BG*, остановившись в своем движении опять на той же линии *CD*... Этот опыт не оставляет места для сомнений в справедливости выставленного положения... Все моменты[8], заставляющие тело подниматься по дугам *BD*, *BJ*, *BI*, равны между собой, так как все они возникли из одно-

го и того же момента, приобретенного, как показывает опыт, при падении по дуге *CB*; отсюда ясно, что все моменты, развивающиеся при падении по дугам *DB*, *JB* и *IB*, равны между собой.

Из работы Х. Гюйгенса «Маятниковые часы»

...Если любое число весомых тел приходит в движение благодаря их тяжести, то общий центр тяжести этих тел не может подняться выше, чем он был в начале движения... Эта моя гипотеза применима также и к жидкостям. И при помощи ее можно доказать не только все теоремы Архимеда о плавании тел, но и много других теорем механики. И если бы изобретатели новых машин, напрасно пытающиеся построить вечный двигатель, пользовались этой моей гипотезой, то они легко бы сами сознали свою ошибку и поняли, что такой двигатель нельзя построить механическими средствами.

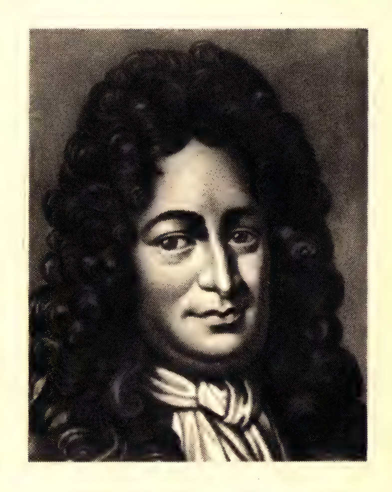
Из работы Х. Гюйгенса «О движении тел под влиянием удара»

При соударении двух тел сумма произведений из их величин[9] на квадраты их скоростей остается неизменной до и после удара, при этом отношения величин и скоростей должны быть выражены числами или отрезками.

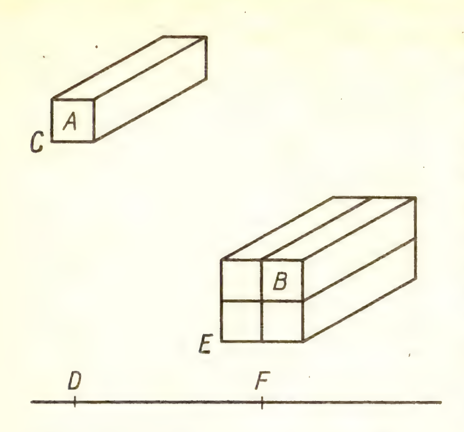
Из работы Г. Лейбница «Краткое указание ошибки достопочтенного Декарта...»

В природе сохраняется одна и та же величина потенции движения[10], она не уменьшается, так как мы видим, что сила[11] ни в какой доле не теряется телом, разве только она переходит в другое тело, и не увеличивается — так как вечное механическое движение совершенно невозможно... Декарт отождествил *силу движения с количеством движения,* провозгласил, что в мире сохраняется... количество движения.

Насколько отличаются друг от друга эти два понятия, можно показать следующим образом. Прежде всего, я исхожу из того, что тело в результате падения с известной высоты приобретает такую силу, что оно



Готфрид Вильгельм Лейбниц



может подняться вверх до такой же высоты при любом направлении, если только оно не встретит никаких внешних препятствий. Например, маятник вернулся бы точно на такую же высоту, с которой он был опущен, если бы сопротивление воздуха и другие подобные незначительные препятствия не отнимали у него часть его силы,— отчего мы сейчас, однако, отвлекаемся. Это наша первая предпосылка.

Во-вторых, я предполагаю, что для того, чтобы поднять тело *A* в 1 фунт[12] на высоту *CD* в 4 локтя[13], нужна такая же сила, которая нужна для того, чтобы поднять тело *B* в 4 фунта на высоту *EF* в 1 локоть. Это допускают все... философы и математики нашего времени.

Отсюда следует, однако, что тело *A*, упавшее с высоты *CD*, приобретает точно такую же силу, как и тело *B*, упавшее с высоты *EF*...

Посмотрим теперь, будет ли одним и тем же количество движения в этих двух случаях. На самом деле, тут сверх всякого ожидания окажется огромная разница. Что это так, я сейчас покажу.

Галилеем было доказано, что скорость, приобретенная при падении по *CD*, вдвое больше скорости, приобретенной при падении по *EF*. Умножим тело *A*, равное 1, на его скорость, равную 2. Произведение, т. е. количество движения, будет равно 2. Точно так же умножим тело *B*, равное 4, на его скорость, равную 1. Произведение, т. е. количество движения, здесь будет равно 4. Отсюда ясно, что количество движения, имеющееся в теле *A*, когда это тело находится в точке *D*, составляет половину того количества движения, которое имеется в теле *B*, когда это тело находится в точке *F*. А ведь только что было найдено, что силы в том и другом случаях должны быть равны. Таким образом, между силой движения и количеством движения имеется большая разница, поэтому одно измерять через другое нельзя, — что мы и хотели доказать.

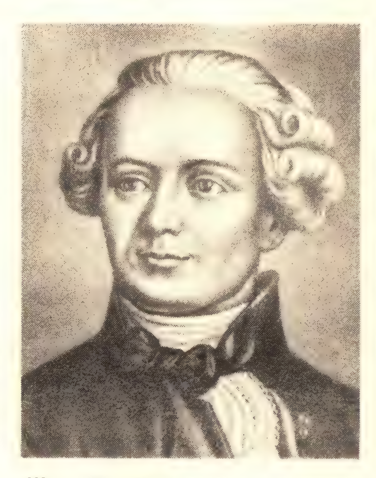
...Нет ничего удивительного в том, что потенции двух одинаковых тел пропорциональны не скоростям, а причинам или результатам скоростей: они пропорциональны высотам, производящим данные скорости или производимым данными скоростями. А это значит, что потенции пропорциональны квадратам скоростей.

Из работы Г. Лейбница «Динамический этюд о законах движения...»

На основании рассуждений и опыта я нашел, что сохраняется абсолютная живая сила[14]... Если бы живая сила могла когда-либо увеличиваться, то действие было бы больше своей причины, т. е. получилось бы вечное механическое движение. Это значит, что мы имели бы нечто такое, что могло бы воспроизводить свою причину и что-то еще помимо этого, — что является нелепостью. Если, наоборот, сила могла бы уменьшаться, то она в конце концов исчезла бы совсем, так как, не будучи в состоянии увеличиваться, но зато будучи в состоянии уменьшаться, она все более приходила бы в упадок,— это, без сомнения, противоречит порядку вещей[15].

Из работы Ж. Даламбера «Динамика»

Этот вопрос, который уже тридцать лет разделяет геометров, заключается в следующем: чему пропорциональна сила движущегося[16] тела — произведению массы на скорость или же произведению массы на квадрат скорости? Например, если одно тело в два раза больше другого[17], а скорость его в три раза больше скорости последнего, то во сколько раз сила первого тела больше силы второго — в восемнадцать раз или только в шесть раз? Какие бы споры этот вопрос ни вызывал, полнейшая бесполезность его для механики заставила меня совершенно не упоминать о нем в настоящем сочинении. Однако я полагаю, нельзя совершенно обойти молчанием мнение, которое Лейбниц считал возможным ставить себе в заслугу, как открытие, которое затем столь искусно и столь удачно развил великий Бернулли[18], которое изо всех сил старался опровергнуть Маклорен[19]...



Жак Даламбер

Когда говорят о силе движущихся тел, то или с произносимым словом вовсе не связывают никакой ясной идеи, или под ним понимают лишь свойство движущихся тел преодолевать встречаемые ими препятствия или сопротивляться этим препятствиям. Поэтому силу надо непосредственно измерять вовсе не расстоянием, равномерно проходимым телом, не временем, употребляемым телом на это движение, и, наконец, не массой и скоростью тела,

взятыми в их простом, голом и абстрактном рассмотрении, а исключительно теми препятствиями, которые тело встречает, и тем сопротивлением, которое ему оказывают эти препятствия. Чем значительнее то препятствие, какое тело может преодолеть или против какого оно может устоять, тем больше, скажем мы, его «сила». Если не желают подразумевать под этим словом какую-то мнимую сущность, находящуюся в теле, то пользуются им просто как кратким выражением некоторого факта, — примерно, подобно тому, как говорят, что у одного тела «скорость» в два раза больше, чем у другого, вместо того, чтобы сказать, что одно тело проходит за определенное время вдвое больший путь, чем другое тело: никто этим не хочет утверждать, будто термин «скорость» представляет некоторую сущность, содержащуюся в теле.

Если это твердо усвоить, то очевидно, что движению тела можно противопоставить три рода препятствий: препятствия непреодолимые, совершенно уничтожающие всякое движение; далее, препятствия, оказывающие как раз такое сопротивление, какое лишь необходимо для того, чтобы уничтожить движение тела, и уничтожающие его мгновенно, — это случай равновесия и, наконец, препятствия, уничтожающие движение постепенно, — это случай замедленного движения.

Поскольку непреодолимые препятствия одинаково уничтожают любое движение, они не могут служить для определения силы. Поэтому меру силы надлежит искать лишь в равновесии или в замедленном движении.

Всеми признано, что между двумя телами существует равновесие, если у них одинаковы произведения масс на виртуальные скорости, т. е. на скорости, с которыми тела стремятся двигаться. Поэтому в случае равновесия произведение массы на скорость или, что то же самое, количество движения, может служить выражением силы.

Всеми признается также и то, что в случае замедленного движения число преодоленных препятствий пропорционально квадрату скорости: тело при известной скорости сжимает, например, одну пружину; при удвоении скорости оно может сжать, одновременно или последовательно, уже не две, а четыре пружины, подобные первой, при утроенной скорости — девять пружин и т. д. Отсюда сторонники живых сил заключают, что вообще сила тел, находящихся в действительном движении, пропорциональна произведению массы на квадрат скорости.

В сущности, какое неудобство могло бы произойти от того, что мера силы в случае равновесия, с одной стороны, и в случае замедленного движения — с другой, различна? Ведь если мы хотим иметь дело только с отчетливыми понятиями, то под «силой» мы не должны понимать ничего, кроме эффекта, произведенного при преодолевании препятствий или при сопротивлении препятствия. В то же время нужно признать, что мнение тех, которые

рассматривают силу как произведение массы на скорость, может быть справедливым не только в случае равновесия, но и в случае замедленного движения, если в последнем случае измерять силу не числом препятствий, а суммой величин их сопротивления. И в самом деле, не подлежит никакому сомнению, что эта сумма сопротивлений пропорциональна количеству движений, так как всякому известно, что количество движения, теряемое телом в каждый элемент времени, пропорционально произведению сопротивления на бесконечно малую продолжительность этого элемента; сумма же этих произведений даст, очевидно, полное сопротивление.

Вся трудность, таким образом, сводится к тому, чтобы определить, следует ли измерять силу числом препятствий или же суммой сопротивлений этих препятствий. Может показаться более естественным измерять силу именно последним способом, так как всякое препятствие является таковым лишь постольку, поскольку оно оказывает сопротивление, так что, собственно говоря, сумма сопротивлений и представляет собой преодолеваемое препятствие. К тому же при таком измерении силы мы имели бы то преимущество, что у нас была бы одна общая мера силы как для случая равновесия, так и для случая замедленного движения. И тем не менее, поскольку в слове «сила» не содержится никакого ясного и точного смысла помимо соответствующего ей действия, я полагаю, что нужно каждому предоставить свободу решить данный вопрос по его усмотрению. К тому же затронутый вопрос представляет собой не более как совершенно бесплодный метафизический[20] спор или спор о словах, недостойных внимания философов.

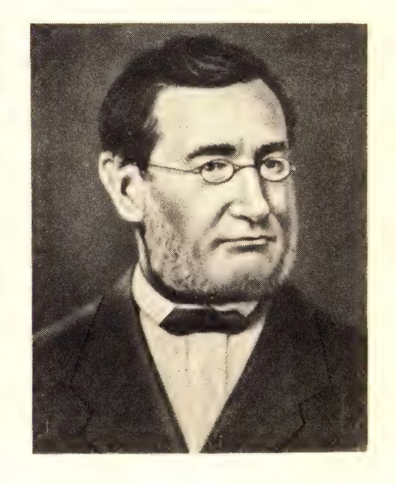
Сказанного достаточно для того, чтобы читателю дать почувствовать это. Но есть еще одно весьма естественное соображение, которое убедит его окончательно. Тело может, во-первых, обладать лишь стремлением двигаться с известной скоростью, но это стремление уничтожается тем или иным препятствием; во-вторых, оно может действительно двигаться равномерно с этой скоростью; в-третьих, оно может начать движение с этой же самой скоростью, но эта скорость в дальнейшем постепенно может уменьшаться и наконец уничтожиться вследствие той или иной причины. Во всех этих случаях тело будет производить различные действия; но тело само по себе ничего не имеет в одном случае сверх того, что оно имеет в другом. Здесь лишь по-разному проявляется действие причины. В первом случае действие сводится к простому стремлению, у которого, собственно говоря, никакой меры нет, поскольку не возникает никакого движения. Во втором случае действием служит то расстояние, которое проходится равномерно в течение данного времени: этого рода действие пропорционально скорости. В третьем случае действие выражается тем расстоянием, которое проходится вплоть до полного поглощения движения, и это действие пропорционально квадрату скорости. Но ведь все эти различного рода действия

происходят, очевидно, от одной и той же причины. Следовательно, как те, которые утверждают, что силы пропорциональны скорости, так и те, которые считают, что силы пропорциональны квадрату скорости, говорят лишь о действиях различного рода. Кстати заметим, что это различие действий, происходящих от одной и той же причины, может служить доказательством недостаточной правильности и точности мнимой аксиомы, которой так часто пользуются: аксиомы о пропорциональности причины своему действию.

Наконец, те, кто окажется не в состоянии подняться до метафизических начал по вопросу о живых силах, легко могут убедиться в том, что спор идет лишь о словах, если они учтут, что оба течения нисколько не расходятся между собой по поводу основных принципов равновесия и движения. Предложите решить одну и ту же задачу из механики двум геометрам, из которых один является противником живых сил, а другой их сторонником. Решения обоих этих геометров, если вообще они верны, совпадут друг с другом. Следовательно, вопрос об измерении сил совершенно бесполезен для механики, он даже не имеет реального смысла. Если бы к данному вопросу подходили, различая в нем ясное и темное, то он, без сомнения, не породил бы такую огромную литературу: решение его потребовало бы всего нескольких строк. Но мне сдается, однако, что большинство писавших об этом вопросе словно боялись говорить о нем в немногих словах.

Из работы Р. Майера «Замечания о силах неживой природы»

Мы видим в бесконечном числе случаев, как исчезает движение без того, чтобы им было произведено другое движение или поднятие груза, но имеющаяся однажды налицо сила[21] не может превратиться в нуль, а только перейти в другую форму и, следовательно, спрашивается: какую дальнейшую форму способна принять сила, которую мы познали как силу падения или движение? Разъяснение этого нам может дать только опыт... Если мы будем, например, тереть две металлических пластинки друг о друга, то мы будем наблюдать, как исчезнет движение и, наоборот, возникнет тепло, и вопрос теперь может быть только о том, является ли движение причиной тепла...



Юлиус Роберт Майер

Но если теперь установлено, что для исчезающего движения во многих случаях (a exceptio confirmal regulam — исключение подтверждает правило) не может быть найдено никакого другого действия, кроме тепла, а для возникшего тепла — никакой другой причины, кроме движения, то мы предпочитаем допущению существования причины без действия и действия без причины допущение, что тепло возникает из движения, подобно тому как химик вместо некритического допущения исчезновения H и O и возникновения необъяснимым образом воды устанавливает связь между H и O, с одной стороны, и водой — с другой...

Мы заключаем наши тезисы, которые получаются с необходимостью из аксиомы causa aiguat effectum* и находятся в совершенном соответствии со всеми явлениями природы, одним практическим выводом... Необходимо ответить на вопрос, как велико соответствующее определенному количеству силы падения[22] или движения количество тепла. Например, мы должны были бы определить, как высоко должен быть поднят определенный груз над поверхностью земли, чтобы его сила падения была эквивалентна нагреванию равного ему по весу количества воды с 0 до 1°. То, что такое уравнение действительно имеет основание в том, что существует в природе, может быть рассматриваемо как резюме всего сказанного выше.

Применяя установленные положения к тепловым и объемным отношениям разных газов, найдем, что опускание сжимающего газ столба ртути равно развиваемому в результате сжатия количеству тепла, и отсюда получается — если положить отношение коэффициентов теплоемкости атмосферного воздуха при постоянном давлении и при постоянном объеме равным 1,421, — что опусканию единицы веса с высоты около 365 м соответствует нагревание равного веса воды от 0 до 1°.

Из работы Р. Майера «Органическое движение в его связи с обменом веществ»

...Можно доказать apriori[23] и во всех случаях подтвердить на опыте, что различные силы могут *превращаться* друг в друга. *В действительности существует только одна-единственная сила.* Эта сила в вечной смене циркулирует как в мертвой, так и в живой природе. Нигде нельзя найти ни одного процесса, где не было бы изменения силы со стороны ее формы!..

Если мы сформулируем результат произведенных до сих пор исследований в одном общем положении, то мы снова получим установленную вначале аксиому. Она гласит: *при всех химических и физических процессах данная сила остается постоянной величи-*

* Лат.: причина равна действию. — Прим. ред.

ной. Для лучшего обозрения рассмотренных до сих пор основных форм сил может служить следующая схема:

I		Сила падения }	*Механические силы,*
II		Движение }	*Механический эффект*
		А. *Простое*	
		В. *Волнообразное, вибрирующее*	
III	*невесомые* imponderabies	*Тепло*	
IV		*Магнетизм*	
		Электричество,	
		гальванический ток	
V		Химическая разобщенность некоторых веществ, химическая связанность некоторых других веществ	*Химические силы*

Из работы Г. Гельмгольца «О сохранении силы»

Принцип сохранения живой силы

Мы исходим из допущения, что невозможно при существовании любой произвольной комбинации тел природы получать непрерывно из ничего движущую силу... Задачей настоящего сочинения является проведение указанного принципа... через все отделы физики отчасти для того, чтобы доказать применимость его во всех тех случаях, где законы явлений уже достаточно изучены, частью, чтобы с помощью этого принципа, опираясь на различные аналогии более известных явлений, сделать дальнейшие заключения о законах еще не вполне изученных явлений и дать, таким образом, в руки эксперимента путеводную нить.



Герман Людвиг Фердинанд Гельмгольц

Указанный принцип может быть

формулирован следующим образом: вообразим себе систему тел природы, которые стоят в известных пространственных взаимоотношениях друг с другом и начинают двигаться под действием своих взаимных сил до тех пор, пока они не придут в определенное другое положение; мы можем рассматривать приобретенные ими скорости как результат определенной механической работы, и можем выразить их через работу. Если бы мы захотели, чтобы те же силы пришли в действие во второй раз, совершая еще раз ту же работу, то мы должны бы были перевести тела каким бы то ни было образом в первоначальные условия, применяя другие силы, которыми мы можем располагать. Мы на это затратим определенное количество работы приложенных сил. В этом случае наш принцип требует, чтобы количество работы, которое получается, когда тела системы переходят из начального положения во второе, и количество работы, которое затрачивается, когда они переходят из второго положения в первое, всегда было одно и то же, каков бы ни был способ перехода, путь перехода или его скорость. Так как если бы величина работы была на каком-нибудь одном пути больше, чем на другом, то мы могли бы пользоваться первым путем для получения работы, а вторым — для обратного перемещения тел, при котором мы могли бы затратить только часть полученной работы, и мы получили бы неопределенно большое количество механической силы, мы построили бы вечный двигатель (perpetuum mobile), который не только поддерживал бы свое собственное движение, но и был бы в состоянии давать силу для совершения внешней работы.

Если мы будем отыскивать математическое выражение этого принципа, то мы его найдем в известном законе сохранения живой силы. Количество работы, которое получается или затрачивается, может, как известно, быть выражено как работа поднятия на определенную высоту h груза m; работа равна mgh, где g есть ускорение силы тяжести. Чтобы подняться свободно на высоту h, тело должно обладать начальной скоростью

$$v = \sqrt{2gh}\ ;$$

эту же скорость тело получает при обратном падении на землю. Таким образом,

$$\frac{1}{2} mv^2 = mgh\ .$$

Следовательно, половина произведения mv^2, которое называется в механике «количеством живой силы тела m», может быть мерой величины работы. Для лучшего согласования с употребительным в настоящее время способом измерений величины силы я предлагаю величину $\frac{1}{2} mv^2$ обозначать, как количество живой силы, благодаря чему она будет тождественна по величине с величиной затраченной работы...

Если волны распространяются из центра в виде сферических

волн, то они приводят в движение все большие массы и, следовательно, интенсивность должна уменьшаться, если живая сила должна оставаться одной и той же.

Так как приведенные в волновые движения массы возрастают как квадрат расстояния, то отсюда следует известный закон, по которому интенсивность уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния...

Те механические процессы, при которых до сих пор предполагалась абсолютная потеря силы, суть следующие.

1. *Удар неупругих тел.* Это явление связано по большей части с изменением и уплотнением тела, по которому произведен удар, следовательно, с увеличением потенциальной энергии. Далее, при часто повторяющихся ударах мы наблюдаем весьма значительное развитие тепла, как, например, это имеет место при проковке металлического предмета, наконец, часть движения передается в виде звука ударяемому твердому телу и газу.

2. *Трение* как на поверхности двух тел, движущихся одно около другого, так и внутри тел при изменении формы, вызываемой смещением мельчайших частиц друг около друга. При трении точно так же находят по большей части небольшие изменения в молекулярном строении тел, именно в начале взаимного трения друг о друга; позднее обыкновенно поверхности так приспособляются, что эти изменения при дальнейшем движении могут считаться исчезающе малыми... При трении живая сила совершенно теряется, точно так же это допускается и при неупругом ударе. При этом, однако, не принимается во внимание, что помимо увеличения потенциальной энергии, происходящего благодаря сжатию трущихся или ударяющихся тел, получается при этом, с одной стороны, тепло, являющееся для нас энергией, при помощи которой мы можем получить механические действия, с другой стороны, по большей части возникает при этом электричество, обнаруживающееся или непосредственно притягательными, или отталкивательными силами, или косвенно благодаря тому, что оно вызывает появление тепла.

...При различных зарядах[24] и различном количестве одинаковой конструкции лейденских банок[25] развившееся в каждой отдельной части той же замыкающей проволоки тепло пропорционально величине $\frac{Q^2}{S}$...

...Развитие тепла при той же зарядке одной и той же батареи[26] остается тем же самым, как бы ни была изменена замыкающая батарею проволока...

Этот закон весьма легко объясняется, если мы разряд батареи будем представлять не как простое движение электричества в одном направлении, но как течение его то в одну, то в другую сторону между двух обкладок в виде колебаний, которые делаются все меньше и меньше, пока, наконец, вся живая сила не будет уничтожена суммою сопротивлений...

Сила тока I в цепи, состоящей из n элементов, дается законом Ома:

$$I=\frac{nA}{\omega},$$

где постоянная A называется электродвижущей силой отдельного элемента и ω — сопротивлением цепи; A и ω в этих цепях независимы от силы тока. Так как в течение определенного промежутка времени действия подобной цепи в ней не изменяется ничего, кроме химических отношений и количества тепла, то закон сохранения энергии требует, чтобы количество тепла, которое может развиваться благодаря химическим процессам, и количество, полученное в действительности, были равны. В куске металлического проводника с сопротивлением ω развившееся в течение времени t тепло равно, по Ленцу:

$$\vartheta=I^2\omega t,$$

если за единицу ω принимают длину проволоки, в которой единица тока развивает в единицу времени единицу тепла. Для разветвленных замыкающих проволок, где сопротивления отдельных ветвей обозначаются через ω_n, а общее сопротивление ω дается уравнением:

$$\frac{1}{\omega}=\sum\left[\frac{1}{\omega_n}\right].$$

Сила тока I_n в ветви ω_n выражается формулой:

$$I_n=\frac{I\omega}{\omega_n},$$

и, следовательно, тепло ϑ_n в той же самой ветви равно:

$$\vartheta_n=I^2\omega^2\frac{1}{\omega_n}t,$$

а количество тепла, развивающееся в целом разветвленном проводнике, равно:

$$\vartheta=\Sigma[\vartheta_n]=I^2\omega^2\sum\left[\frac{1}{\omega_n}\right]t=I^2\omega t.$$

Следовательно, общее количество развившейся теплоты в цепи, имеющей любые разветвления проводов, при условии, что закон Ленца верен для жидких проводников, как это нашел Джоуль, может быть выражено так:

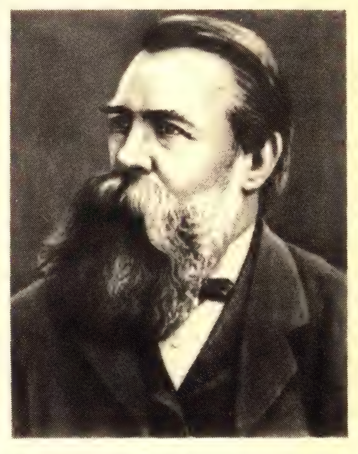
$$\vartheta=I^2\omega t=nAIt.$$

Я думаю, что приведенные данные доказывают, что высказанный закон не противоречит ни одному из известных в естествознании фактов и поразительным образом подтверждается большим числом их. Я постарался установить по возможности полно

следствия, которые получаются из комбинации этого закона с известными до сих пор законами естественных явлений и которые еще должны ожидать своего подтверждения на опыте. Цель этого исследования, которая может мне извинить и гипотетическую часть его, представить физикам в возможной полноте теоретическое, практическое и эвристическое значение этого закона, полное подтверждение которого должно быть рассматриваемо как одна из главных задач ближайшего будущего физики.

Из книги Ф. Энгельса «Диалектика природы»*

...Механическое движение... обладает двоякой мерой, но... каждая из этих мер имеет силу для весьма определенно отграниченного круга явлений. Если имеющееся уже налицо механическое движение переносится таким образом, что оно сохраняется в качестве механического движения, то оно передается согласно формуле о произведении массы на скорость. Если же оно передается таким образом, что оно исчезает в качестве механического движения, воскресая снова в форме потенциальной энергии, теплоты, электричества и т. д., если, одним словом, оно превращается в какую-нибудь другую форму движения, то количество этой новой формы движения пропорционально произведению первоначаьно двигавшейся массы на квадрат скорости. Одним словом: mv — это механическое движение, измеряемое механическим же движением; $\frac{mv^2}{2}$ — это механическое движение, измеряемое его способностью превращаться в определенное количество другой формы движения. И мы видели, что обе эти меры тем не менее не противоречат друг другу, так как они различного характера.



Фридрих Энгельс

. . . .

Но как же выражает современная механика это превращение механического движения в другую форму движения, количественно пропорциональную первому? Это движение, — говорит механика,— *произвело работу,* и притом такое-то и такое-то количество работы.

---

* Энгельс Ф. Диалектика природы.— Маркс К., Энгельс Ф. Соч., изд. 2-е, т. 20, с. 418, 419, 421, 422.

Но понятие работы в физическом смысле не исчерпывается этим. Если теплота превращается — как это имеет место в паровой или калорической машине — в механическое движение, т. е. если молекулярное движение превращается в движение масс, если теплота разлагает какое-нибудь химическое соединение, если она превращается в термоэлектрическом столбе в электричество, если электрический ток выделяет из разбавленной серной кислоты составные элементы воды или если, наоборот, высвобождающееся при химическом процессе какого-нибудь гальванического элемента движение (alias* энергия) принимает форму электричества, а это последнее в свою очередь превращается в замкнутой цепи в теплоту, — то при всех этих явлениях форма движения, начинающая процесс и превращающаяся благодаря ему в другую форму, совершает работу, и притом такое количество работы, которое соответствует ее собственному количеству.

Таким образом, работа — это изменение формы движения, рассматриваемое с его количественной стороны.

. . . .

Для нас, убедившихся в том, что живая сила есть не что иное, как способность некоторого данного количества механического движения производить работу, само собой разумеется, что выражение этой способности к работе в механических мерах и даваемое в тех же мерах выражение действительно произведенной ею работы должны быть равны друг другу и что, следовательно, если $\frac{mv^2}{2}$ является мерой работы, то и живая сила точно так же должна иметь своей мерой $\frac{mv^2}{2}$. Но так уж это бывает в науке. Теоретическая механика приходит к понятию живой силы, практическая механика инженеров приходит к понятию работы и навязывает его теоретикам. А вычисления настолько отучили механиков от мышления, что в течение ряда лет они не замечают связи обеих этих вещей, измеряют одну из них через mv^2, а другую через $\frac{mv^2}{2}$ и принимают под конец в виде меры для обеих $\frac{mv^2}{2}$ не из понимания существа дела, а для упрощения выкладок!

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] *Симон Стевин* (1548—1620) — нидерландский ученый и инженер. Его преподавательская деятельность связана с Лейденским университетом и Инженерной школой, где он читал лекции по математике. В 1585 г. Стевин завершил труд «Десятина», посвященный десятичной системе мер и десятичным дробям, которые Стевин впервые ввел в употребление (в Европе). В сочинении «Статика или

* Alias — (лат.) иначе говоря. (Ред.)

начала равновесия» (1586 г.) он дал доказательство закона равновесия тел на наклонной плоскости. Для доказательства Стевин использовал принцип невозможности вечного двигателя. Стевину принадлежат также работы по гидростатике, навигации, техническим и инженерным вопросам.

[2] *Готфрид Вильгельм Лейбниц* (1646—1716) — немецкий философ и ученый. Деятельность Лейбница как ученого охватывает математику, физику, юриспруденцию и др. Родился в Лейпциге. Учился в Лейпцигском и Йенском университетах. С 1672 по 1676 г. он находился в Париже с дипломатической миссией. В этот период он изучал математику и естествознание. Лейбниц обратил внимание на трудности в связи с законом сохранения движения Декарта, а также на результаты исследования Гюйгенсом явления удара. Правильно проанализировав частные случаи закона сохранения энергии, которые были известны к этому времени, Лейбниц высказал закон сохранения энергии в механике в форме закона сохранения живых сил.

С именем Лейбница связано введение многих терминов, которые широко используются в наши дни: динамика, функция, алгоритм, дифференциал и др.

В математике Лейбниц разделил с Ньютоном славу создания дифференциального и интегрального исчисления. С 1676 г. после возвращения в Германию и последующие 40 лет Лейбниц состоял на службе у ганноверских герцогов в качестве придворного библиотекаря, затем в качестве герцогского историографа и тайного советника юстиции. С 1700 г. Лейбниц — первый президент созданного по его инициативе Берлинского научного общества (позднее — Академии наук). В 1711, 1712 и 1716 гг. встречался с Петром I, который советовался с Лейбницем по вопросам развития образования и государственного управления в России. В Ганновере Лейбниц прожил до конца своей жизни.

[3] *Жак Даламбер* (1717—1783) — французский ученый и философ. Воспитывался в бедной семье ремесленников, которая подобрала младенца около одной из парижских церквей. Впоследствии отец, заинтересовавшись судьбой мальчика, помог получить ему образование в колледже. В 1738 г. он получил звание адвоката, продолжая заниматься самообразованием. В 1742 г. им опубликовано ряд работ по математике и в этом же году его избрали адъюнктом в Парижскую академию наук. В 1743 г. вышла знаменитая работа Даламбера «Динамика», которая явилась важным шагом в развитии механики. Вместе с Дидро Даламбер был издателем и редактором первых томов знаменитой французской энциклопедии, в которой им был написан ряд статей.

С 1754 г. он член Парижской, а с 1764 г. — Петербургской академий наук. Даламбер занимался также исследованием по истории, написал биографии многих академиков XVIII в.

[4] *Фридрих Энгельс* (1820—1895) — один из основоположников марксизма, вождь международного пролетариата, друг и соратник К. Маркса.

Среди философских работ Энгельса наиболее фундаментальными являются «Анти-Дюринг» и «Диалектика природы».

В этих работах Энгельс уделил много места философским вопросам естествознания. В них он коснулся основных понятий физики и других естественных наук. В частности, Энгельс проанализировал закон сохранения и превращения энергии. Он уделил внимание содержанию понятий силы, пространства и времени и ряда других основных понятий физики.

Сочинение «Анти-Дюринг» было опубликовано при жизни Энгельса в 1877—1878 гг. Работа же «Диалектика природы»» была выпущена в свет в СССР в 1925 г.

[5] *Юлиус Роберт Майер* (1814—1878) — немецкий врач и физиолог. С 1832 г. изучал медицину в Тюбингенском университете, но в 1837 г. был исключен за участие в запрещенных студенческих собраниях. В 1838 г. Майер защитил диссертацию и получил степень доктора медицины. В 1840 г. он принимал участие в плавании на остров Яву в качестве судового врача. Находясь в тропиках, Майер заметил, что кровь жителей тропиков содержит больше кислорода, чем кровь людей, живущих в Европе.

Исследования этих явлений натолкнули Майера на открытие эквивалентности теплоты и работы. Дальнейшие исследования привели его к открытию закона сохранения и превращения энергии или, по его терминологии, «закона сохранения сил». Впервые Майер опубликовал открытый им закон в 1842 г. в статье «Замечания о силах неживой природы» в химико-фармацевтическом журнале. Затем в более полном виде он опубликовал свои исследования в 1845 г. в книге «Органическое движение в его связи с обменом веществ». В этих работах, кроме общей формулировки закона сохранения и превращения энергии («сохранения силы»), Майер определил механический эквивалент теплоты. На работы Майера физики обратили внимание только после опубликования работ Джоуля и Гельмгольца, в которых последние также дали обоснование закона сохранения энергии.

[6] *Герман Людвиг Фердинанд Гельмгольц* (1821—1894) — немецкий ученый. Его научные труды охватывают важнейшие области физики, физиологии, математики, философии. Гельмгольц родился в Потсдаме. Закончил военно-медицинский институт в Берлине. В первой работе по физике «О сохранении силы», вышедшей в 1847 г., Гельмгольц ставит своей задачей показать применимость закона сохранения «силы» ко всем известным в то время физическим явлениям.

В 1849 г. он стал профессором анатомии и физиологии Кенингсбергского, в 1855 г. — Боннского и в 1858 г. — Гейдельбергского университетов. В эти же годы Гельмгольц делает выдающееся открытие в области физиологии — открывает нервную клетку и устанавливает, что возбуждение по нерву распространяется не мгновенно, а с некоторой скоростью. Он разрабатывает теорию слухового аппарата человека, а также теорию пространственного и цветного зрения. Его научные достижения по физиологии опираются на глубокие знания физики и собственные его исследования.

В области физики Гельмгольцу, кроме приведенной работы, принадлежат заслуги в области теории электричества, механики и др. По предложению Гельмгольца, Герц занялся экспериментами, которые привели его к обнаружению электромагнитных волн.

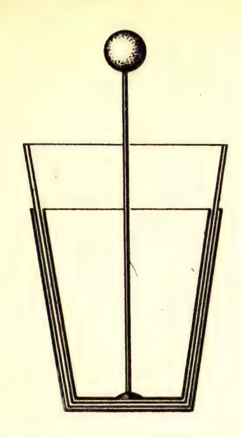
[7] См. примечание на с. 18.

[8] Понятие момента у Галилея, очевидно, ближе всего к современному понятию энергии.

[9] Под словами «их величин» следует понимать «масс данных тел».

[10] Смысл, в котором здесь употребляется выражение «потенция движения», соответствует современному понятию энергии.

[11] Слово «сила» здесь употребляется в смысле энергии.



«Лейденская банка»

[12] Фунт — мера массы. 1 фунт = 0,5 кг.

[13] Локоть — старинная мера длины. В России она равнялась 455—475 мм.

[14] Под абсолютной живой силой следует понимать кинетическую энергию.

[15] В этом отрывке Лейбниц формулирует закон сохранения «живых сил», т. е. закон сохранения энергии в механике.

[16] Под «силой движущегося тела» следует понимать меру движения.

[17] Здесь имеется в виду, что масса одного тела в два раза больше массы другого тела.

[18] *Иоганн Бернулли* (1667—1748) — швейцарский ученый (по происхождению голландец), известный своими работами по математике и механике, почетный член Петербургской академии наук. И. Бернулли в книге «Рассуждение о законах передачи движения» (1723) дал разъяснение важнейших положений учения Лейбница о сохранении энергии («живых сил»).

[19] *Маклорен* (1698—1746) — шотландский математик, занимавшийся также и вопросами механики. В 1724 г. Парижская академия наук премировала его работу об ударе.

[20] Метафизика — первоначальное название философского трактата Аристотеля, помещенного в собрании его сочинений после книг, составляющих «физику». В этом трактате излагались рассуждения об умозрительно постигаемых началах бытия: о боге, душе, свободе воли и т. д. Термин «метафизика» употребляется для обозначения одностороннего формалистического подхода (в отличие от диалектического). В данном тексте под метафизическими началами подразумевается односторонняя позиция Лейбница.

[21] Под силой здесь понимается энергия.

[22] Под силой падения подразумевается потенциальная энергия поднятого над землей тела.

[23] Apriori — (лат.) до опыта.

[24] Величина заряда ниже обозначена через Q, а площадь обкладок «лейденской банки» — через S.

[25] «Лейденская банка» — это простейший конденсатор, представляющий собой стеклянный сосуд цилиндрической формы, обклеенный снаружи и изнутри (примерно на 2/3 высоты) металлической фольгой, образующей, таким образом, обкладки конденсатора. Внутренняя обкладка соединена с металлическим стержнем, который заканчивается шариком (см. рис.).

[26] Речь идет о батарее конденсаторов.

ОГЛАВЛЕНИЕ

IV. ОБ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СТРАНЫ

V. ОПТИКА

VI. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

VII. ФИЗИКА АТОМА И АТОМНОГО ЯДРА

VIII. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В ФИЗИКЕ

Составители:
Анатолий Сергеевич Енохович,
Олег Федорович Кабардин,
Юрий Александрович Коварский и др.

ХРЕСТОМАТИЯ ПО ФИЗИКЕ

Редактор *Г. Р. Лисенкер*
Художник *Г. М. Чеховский*
Художественный редактор *В. М. Прокофьев*
Технический редактор *В. Ф. Коскина*
Корректоры *Л. А. Ежова, И. Н. Скворцова*

ИБ № 6373

Сдано в набор 08.01.82. Подписано к печати 22.09.82. 60×90¹/₁₆. Бумага офсетная № 2. Гарнитура литературная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 14 + вкл. 0,125 + + форзац 0,25. Усл. кр-отт. 15,25. Уч.-изд. л. 15,44 + + вкл. 0,11 + форзац 0,45. Тираж 764 000 экз. Цена 55 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение» Государственного комитета РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Смоленский полиграфкомбинат Росглавполиграфпрома Государственного комитета РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Смоленск-20, ул. Смольянинова, 1.

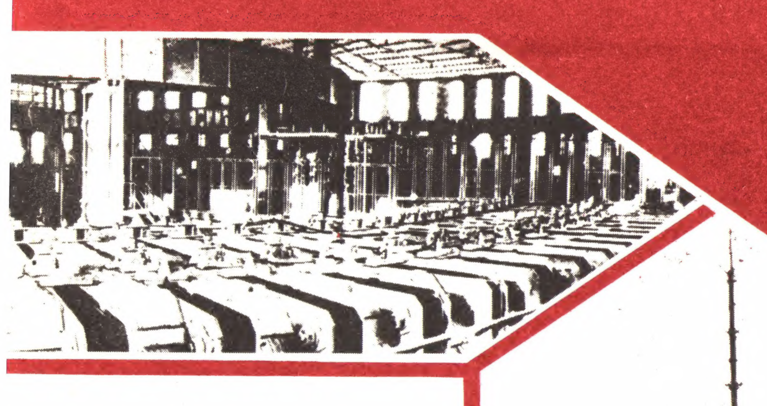


АКТИНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ

ИЗСЛѢДОВАНІЯ.

А. Г. Столѣтова.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Тип. В. Демакова, Новый пер., 7.
1889.





АКАДЕМИЯ НАУК СССР

☆

Серия «Итоги и проблемы современной науки»

С. И. ВАВИЛОВ

МИКРОСТРУКТУРА СВЕТА

(ИССЛЕДОВАНИЯ И ОЧЕРКИ)



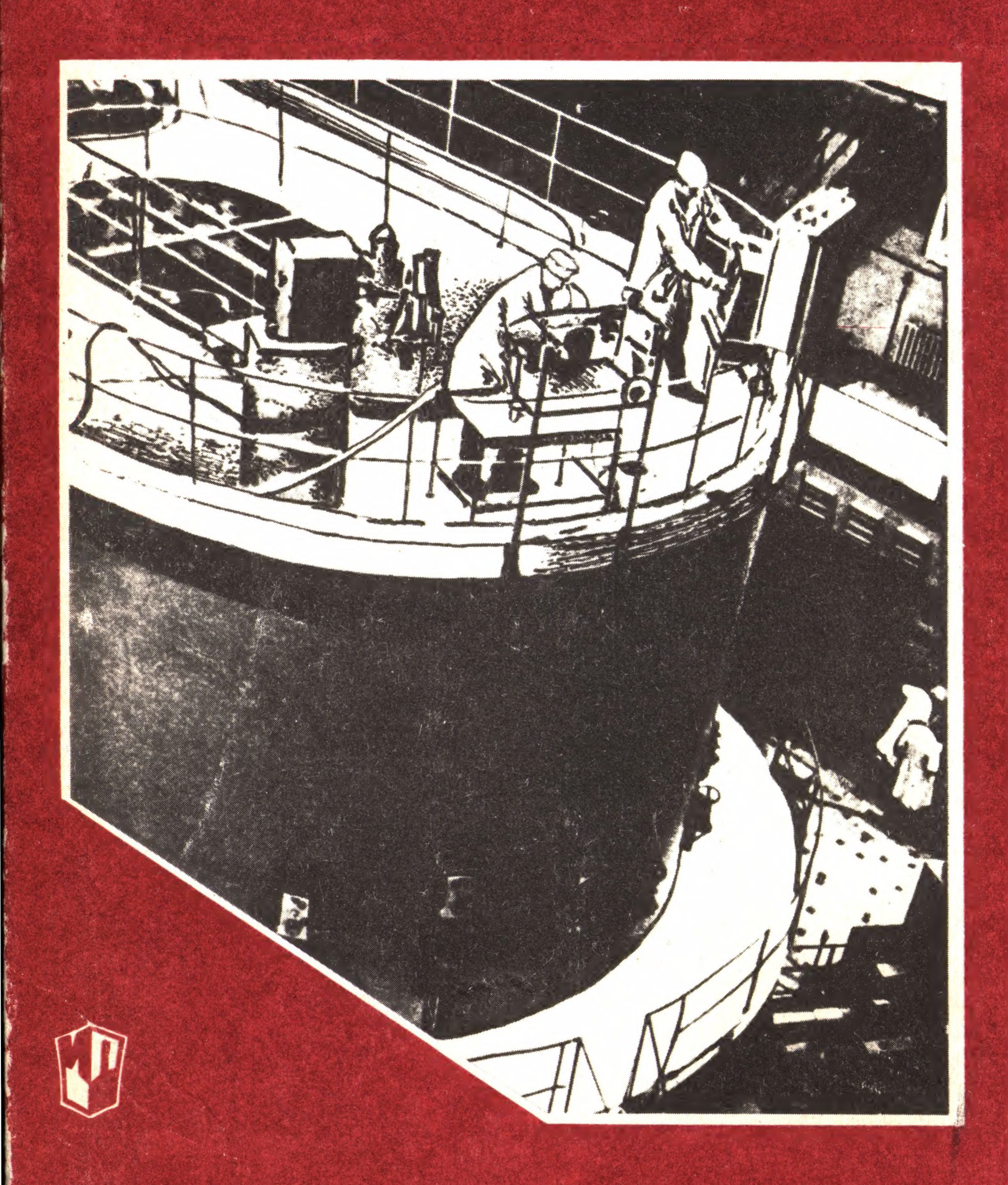
ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

Москва 1950





55 коп.




ХРЕСТОМАТИЯ ПО ФИЗИКЕ